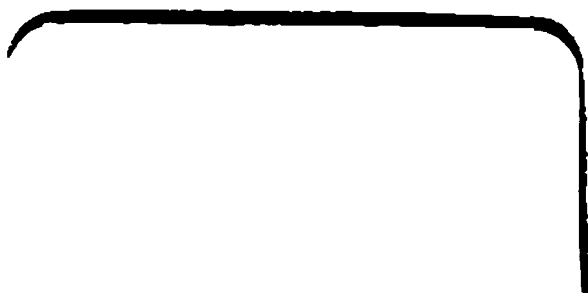






GRUNDZÜGE

DER

EXPERIMENTALPHYSIK

MIT RÜCKSICHT AUF CHEMIE UND PHARMACIE,

ZUM GEBRAUCHE

BEI

VORLESUNGEN UND ZUM SELBSTUNTERRICHTE,

VON

Dr. H. BUFF,

PROFESSOR AN DER UNIVERSITÄT ZU GIESSEN.

MIT ZAHLREICHEN HOLZSCHNITTEN UND AUSGEFÜHRTEN TAFELN.

HEIDELBERG 1853.

AKADEM. VERLAGSHANDLUNG VON C. F. WINTER.

Druck von H. L. Brönner in Frankfurt a. M.

Vorrede.

Ungeachtet wir in deutscher Sprache eine ziemlich grosse Anzahl zum Theil vortrefflicher Lehrbücher der Physik besitzen, so fehlte doch bisher ein Werk, in welchem die besonderen Bedürfnisse des Chemikers, Pharmaceuten und Arztes eine mehr als untergeordnete Berücksichtigung gefunden hätten. Diese Lücke in unserer naturwissenschaftlichen Literatur, welche dem Verfasser bei seinen Vorträgen an der hiesigen Universität sehr häufig fühlbar geworden ist, gab die erste Veranlassung zur Herausgabe des vorliegenden Werkes. Dem aufmerksamen Leser kann übrigens nicht entgehen, dass, obschon diejenigen Zweige der Physik, welche als vorbereitend für das Studium der Chemie die unentbehrlichsten sind, mit besonderer Ausführlichkeit behandelt wurden, darum doch andere Zweige im Verhältniss zu ihrer Bedeutung nicht verkürzt worden sind, und dass auch die mathematische Begründung, so weit in einem Buche, das seiner Bestimmung nach wesentlich ein elementares sein soll, erwartet werden kann, gebührend berücksichtigt worden ist.

Die bis in die neueste Zeit hin so rasche Fortentwicklung fast aller Zweige der Physik machten in den

Lehren des Magnetismus, der Electricität und des Lichtes wiederholte Umarbeitungen nöthig, und erforderten zeitraubendere experimentelle Vorstudien, als anfangs berechnet worden war. Das endliche Erscheinen des Werkes ist dadurch verzögert worden; doch vielleicht nicht ohne verhältnissmässige Erhöhung seines inneren Werthes. Zur Vergrösserung dieses letzteren hat nach der Ueberzeugung des Verfassers noch der Umstand beigetragen, dass es ihm gelungen ist, für die Bearbeitung des Abschnittes: Theorie der Musik, Seite 530, so wie der zweiten Abtheilung der Optik, Seite 610, die Kräfte eines mit diesen Theilen der Experimentalphysik auf's gründlichste vertrauten Gelehrten, seines hochgeschätzten Collegen, Herrn Professor Zamminer zu gewinnen.

Giessen im December 1852.

Inhalt.



Inhalt des Anhangs.

Mit besonderer Bezeichnung der Seiten.

Grundriss

der

Experimentalphysik.



Einleitung.

1. **Die Erforschung der Naturerscheinungen, die Darlegung der Bedingungen ihres Auftretens und die Erklärung ihrer Ursachen bildet den Gegenstand der Naturlehre oder der Physik.**

Mit dem Worte Natur, Körperwelt, bezeichnet man den Inbegriff aller sinnlichen Wahrnehmungen.

Jeder Vorgang oder jede Veränderung in der Körperwelt wird eine Naturerscheinung (Phänomen) genannt.

2. *Eine* **Naturerscheinung nach allen ihren Beziehungen bestimmt auffassen und erkennen, heisst dieselbe beobachten.**

Was uns von den Erscheinungen in der Natur bekannt ist, gründet sich auf Beobachtungen, die theils im Leben unmittelbar aufgefasst worden, theils aus absichtlich angestellten Versuchen oder Experimenten (daher Experimentalphysik) hervorgegangen sind.

Das Geschäft des Naturforschers besteht darin, diese Beobachtungen zu sammeln und zu vervielfältigen, sie zu ordnen und in Verbindung zu bringen. Sie dienen dem Verstande als Anhaltspuncte, als Hülfsmittel zu Schlüssen über die Bedingungen der Wiederkehr und über die Ursachen der um uns vorgehenden Veränderungen. Indem die Vorstellungen (Ideen), zu welchen sie leiten, durch neue Beobachtungen, welche die Aussprüche passend angeordneter Versuche seyn können, geprüft, verbessert und erweitert werden, gelangt man allmählig zu einer immer deutlicheren Erkenntniss des wahren Zusammenhangs und der letzten Gründe der Naturerscheinungen.

3. **Die Bedingungen der Wiederkehr einer Naturerscheinung, in einem Begriffe zusammengefasst, nennt man deren Gesetz und insofern diese Bedingungen nur aus Beobachtungen, Erfahrungen abgeleitet werden können, Erfahrungsgesetz.**

4. Wenn das Gesetz einer Naturerscheinur auch einer ganzen Reihe von Erscheinungen du gerichtige Schlüsse auf seine letzte Ursache : geführt ist, so sagt man, dieselben seyen erklärt Wenn die Vorstellungen, welche einer solche rung zu Grunde liegen, den Erscheinungen, die klären sollen, durchaus angemessen sind, wen durch keine Erfahrung, durch keine Thatsache sprochen wird, so gebührt ihnen der Name einer T

Lässt sich das Gesetz einer Erscheinung aus de rie rückwärts, als einfache und nothwendige Fo leiten, so dürfen wir dasselbe als den wahren Au für die Bedingungen der Wiederkehr dieser Ersch betrachten; es ist ein Naturgesetz.

Theorien, deren Richtigkeit noch zweifelh scheint, welche z. B. nur eine einzige oder doch nige Beobachtungen zu ihrer Stütze haben, wer pothesen genannt.

Das dem menschlichen Verstande eigenthümliche B sich von den Vorgängen in der Natur Rechenschaft zu führt häufig zu Hypothesen, die bei fortgesetztem grü Studium wieder verworfen werden müssen. Eine Vorstell fernt sich um so weiter von dem Gebiete des Hypotheti grösser die Zahl der Erscheinungen ist, zu deren Erklä uns den Schlüssel liefert.

Eine Theorie, wenn gleich sie die wahre Ursache einer Reihe von Erscheinungen zu enthalten scheint, ist dennoc len unzureichend, um von andern verwandten Erscheinun ungezwungene Erklärung zu geben. Hierdurch ist nun a bewiesen, dass diese Theorie noch unvollkommen, nicht a sie unrichtig ist. Als falsch aber und als verwerflich m Theorie betrachtet werden, wenn derselben auch nur eine wohlbegründete Thatsache unbedingt widerspricht.

I. Von den Körpern überhaupt.

5. Alles, was einen begränzten Raum selbst ausfüllt, oder was Ausdehnung und Undurchdri keit besitzt, heisst Körper. Der Raum selbst, welc Gränzen eines Körpers einschliessen, heisst sei inhalt (Volumen).

Jeder Körper, den wir wahrnehmen können, besitzt Grösse, Gestal und erstreckt sich nach allen drei Richtungen; er hat Ausdehnung. Der verlässt freiwillig den Raum, den er einnimmt, noch gestattet er dern Körper, in diesen Raum einzudringen, bevor er ihn selbst verl er ist undurchdringlich.

6. **Was ein Körper irgend in die Sinne Fallendes darbietet, heisst Eigenschaft desselben.**

Alle Vorgänge in der Natur, alle Naturerscheinungen sind Aenderungen, welche Eigenschaften oder Zustände der Körper erfahren.

Wir machen diese Aenderungen von gewissen Ursachen abhängig, die wir Kräfte oder Naturkräfte nennen und welche wir uns immer so vorstellen, als könnten sie sich ausserhalb der Körper befinden, auf welche sie einwirken. Wenn auch eine solche Trennung in der Wirklichkeit nicht bewerkstelligt werden kann, so ist doch diese Vorstellung von grossem Nutzen und bildet den Ausgangspunct der wichtigsten Fortschritte in der Physik.

7. **Das Raumerfüllende von den Kräften getrennt oder für sich betrachtet, heisst Materie, Stoff.**

Die Materie wirkt nach unserer Vorstellung nicht durch sich selbst auf die Sinne; sie ist eigenschaftslos, unthätig, träge; sie fördert weder, noch hindert sie die Veränderungen, welche durch die Naturkräfte in den Körpern hervorgebracht werden; sie ist die blosse Trägerin dieser Kräfte.

8. **Die Eigenschaften, welche wir bei den Körpern entdecken, sind Aeusserungen der in ihrer Materie thätigen Kräfte.**

Manche Eigenschaften sind allen Körpern gemein; z. B. alle Körper besitzen Gewicht, alle sind beweglich, alle theilbar.

Andere Eigenschaften gehören gewissen Klassen von Körpern an und sind also bezeichnend für diese. So treffen wir viele Körper in fester Form, andere in flüssiger und wieder andere in Luftform. Sehr viele feste Körper zeigen sich uns in bestimmter, regelmässig wiederkehrender Gestalt, als Krystalle; bei andern ist die Gestalt etwas Zufälliges u. s. w.

Noch andere Eigenschaften, wie Farbe, Glanz, Härte von bestimmter Art, eine gewisse Krystallgestalt, ein gewisses Verhalten gegen andere Körper u. s. w. gehören nur einzelnen Körpern an. Alle solche Eigenschaften, wodurch sich ein Körper von andern unterscheidet, bilden zusammengenommen das, was man seine Eigenthümlichkeit (Charakteristik) nennt; sie bezeichnen die Qualität, die Art eines Körpers, die Beschaffenheit seines Stoffes.

9. **Zwei Körper, welche wesentlich verschiedene Eigenschaften zeigen, nennt man verschiedenartige oder qualitativ verschiedene Körper.**

10. **Zwei Körper werden quantitativ verschieden genannt, wenn sie bei wesentlich gleichen Eigenschaften doch noch Verschiedenheiten darbieten; wenn sie z. B. ungleiche Grösse oder ungleiches Gewicht besitzen.**

11. Die Darlegung der Ursachen, welche die Verschiedenart keit der Körper bedingen, bildet den eigentlichen Inhalt der Cl mie als eines besonderen Theiles der Naturlehre; während Physik im engeren Sinne (auch mechanische Physik genan sich mit dem allgemeinen Verhalten der Körper befasst, oder s als hauptsächlichste Frage diejenige stellt: welche Eigenschaf allen Körpern gemein sind und von was für Kräften sie abhäng

Von den allgemeinen Eigenschaften der Körper und v den Naturkräften.

12. Gewisse Eigenschaften sind bei allen Körpern in d Grade hervortretend, dass sie sich vorzugsweise als allgeme Eigenschaften charakterisiren. Dahin gehört: Schwere, Bew lichkeit, Zusammendrückbarkeit, Porosität, Theilbark

13. Schwere. Jeder ruhende Körper ohne Ausnahme äuss einen Druck auf seine Unterlage; er fällt, so wie man die Unt lage entfernt, d. h. er bewegt sich in einer bestimmten Richtu welche die lothrechte oder senkrechte heisst, gegen die Oberfläc der Erde. Diesen Druck, dieses Bestreben zu fallen, leiten wir v einer besondern Kraft ab, welche die Schwere, Schwerkr genannt wird. Man kann sie zunächst als eine Anziehung betra ten, welche die Erde auf alle Erdkörper ausübt. Alle Körper s schwer, heisst demnach: alle Körper werden von der Erde an zogen.

14. Beweglichkeit. Die Körper streben nicht nur gegen Erde zu fallen, sie können durch äussere Ursachen auch nach je andern Richtung bewegt werden. Wir selbst sind im Stande, K pern Bewegung zu ertheilen, und wir finden, dass jeder bewe Körper seinerseits wieder andere zu bewegen vermag. Krä durch deren Einwirkung die Lage oder der Ort eines Körpers v ändert werden kann, heissen bewegende oder mechanisc Kräfte.

15. Zusammendrückbarkeit und Porosität. Viele Kör können durch äusseren Druck sehr bedeutend zusammengepre werden. Kork, Holz, Luft; Prägen der Metalle. Die Erfahrung le dass selbst solche Körper, die man früher für unzusammendrü bar hielt, wie das Wasser, äusseren Einwirkungen, die ihren Ra (Volumen) zu vermindern streben, nicht ganz zu widerstel vermögen.

Dieses Verhalten widerspricht nicht der Undurchdringlichk der Materie, denn man findet, dass die Materie sehr vieler Kör den Raum, worin sie eingeschlossen ist, nicht stetig (nicht un terbrochen) ausfüllt; man ist berechtigt, auf eine ähnliche Besch

feinheit auch bei solchen Körpern zu schliessen, bei welchen sich dieselbe nicht direkt wahrnehmen lässt.

Man stellt sich vor, dass jeder Körper aus einem Aggregate materieller Theile bestehe, welche in keiner unmittelbaren Berührung sind, wohl aber durch anziehende oder zusammendrückende Kräfte einander genähert oder durch abstossende von einander entfernt werden können. Die hierdurch gebildeten Zwischenräume heissen **Poren**; die bezeichnete Eigenschaft: **Porosität**.

Bei vielen Körpern sind die Poren ganz deutlich sichtbar; Holz, thierische Membrane, poröse Steine. Man hat aber ausser der Sichtbarkeit noch andere direkte Beweise für die Porosität; das Filter des Chemikers; Quecksilber lässt sich durch Leder und durch die dichtesten Hölzer pressen. Wasser, luftförmige Körper sickern bei sehr starkem Drucke selbst durch Metalle, wie durch Gefässe von Kupfer oder Gold. Manche Stoffe, z. B. trockner Thon, ausgeglühter Gyps, saugen beträchtliche Mengen von Wasser ein ohne verhältnissmässige Vergrösserung ihres Umfangs. Verminderung des anfänglichen Rauminhaltes bei Vermischung mancher Flüssigkeiten oder auch Auflösung fester in flüssigen Körpern; z. B. Vermischung von Schwefelsäure oder Alkohol mit Wasser, zu gleichen Theilen. Der Umfang aller Körper wird durch Erhitzen vergrössert ohne irgend bemerkbare Unterbrechung des anfänglichen materiellen Zusammenhanges. Abkühlen verringert das Volumen der Körper.

16. **Theilbarkeit.** Man versteht hierunter die Eigenschaft, die jeder Körper besitzt, sich in kleinere Theile zerlegen zu lassen.

Viele Körper können in Theile von so ausserordentlicher Kleinheit zerlegt werden, dass wir zur Bestimmung ihrer Grösse kaum noch einen sichern Anhalt zu finden vermögen. Indessen, so weit auch die Theilung getrieben worden seyn mochte, so kann es doch geschehen, dass, insofern das Ganze eine gleichartige Masse bildete, auch die Theile, sowohl unter einander wie mit dem Ganzen gleichartig sind; z. B. der kleinste Splitter von einem Goldstücke abgelöst, besitzt alle Eigenschaften, welche das Gold auszeichnen.

Die Eigenschaft der Körper, sich in kleinere gleichartige Theile zerlegen zu lassen, heisst **mechanische Theilbarkeit**.

Zerschneiden, Zerbrechen, Zerschlagen, Zerstossen, Zerreiben u. s. f. sind die gewöhnlichen Hülfsmittel, mechanische Theilung zu bewirken.

17. Die mechanische Zerlegung der Körper kann, wenigstens mit den uns zu Gebote stehenden Hülfsmitteln, nicht über die Gränzen der sinnlichen Wahrnehmbarkeit hinaus fortgesetzt werden. Die Frage, ob die Theilbarkeit, als Eigenschaft der Materie, überhaupt Gränzen findet, lässt sich daher auf physikalischem Wege nicht beantworten. Mit Beziehung auf die bis jetzt bekannten Wirkungen der Naturkräfte haben wir jedoch Gründe, die Theilbarkeit als begränzt und also die gleichartigen zusammensetzenden Theile der Körper ihrer Form, Grösse und inneren (eigenthümlichen, qualitativen) Beschaffenheit nach als gegeben zu betrachten.

Die nach dieser Vorstellung kleinsten Theile der Körper heissen **Massentheile** oder **Atome**.

Jeder gleichartige Körper ist ein Aggregat, eine Nebeneinander lagerung gleichartiger Atome. Die Atome sind die Träger einer anziehenden Kraft (Cohäsionskraft), durch deren Einwirkung sie sich gegenseitig zu nähern streben, und zugleich einer abstossenden

Kraft (Expansionskraft), welche die völlige Berührung der At
verhindert.

18. Die Atome der meisten Körper, wenn auch mechan
nicht weiter zerlegbar, lassen sich gleichwohl noch chemi
zertheilen, d. h. sie können unter dem Einflusse gewisser Kr
die man chemishe Kräfte nennt, in zwei oder mehrere Best
theile geschieden werden, welche hinsichtlich der Beschaffen
des Stoffes weder unter einander noch mit dem Ganzen über
stimmen.

19. Es gibt nur eine kleine Anzahl Körper — im Ganzen
deren 55 bekannt, — welche bis jetzt in keine weiteren, ungleic
tigen Bestandtheile, oder welche nicht chemisch zerlegt we
konnten. Man betrachtet sie desshalb, vorläufig wenigstens,
einfache Stoffe. Im Gegensatze werden alle übrigen Körper
sammengesetzte Stoffe genannt.

Die kleinsten Theile der einfachen Stoffe heissen einfa
Atome; wir müssen sie der Grösse, Gestalt und ganzen Besc
fenheit nach als ursprünglich vorhanden und unveränderlich
trachten.

Die kleinsten, d. h. mechanisch nicht weiter zerlegbaren Th
der zusammengesetzten Stoffe heissen zusammengeset
Atome.

Da eine gegenseitige Durchdringung dem Begriffe des At
widerstreitet, so können die zusammengesetzten Atome nur du
Nebeneinanderlagerung (Juxtaposition) der einfachen entstan
seyn.

Jedes zusammengesetzte Atom heisst auch eine chemis
Verbindung.

Die Kraft, vermöge der die einfachen Atome einander an
hen und mit einer Stärke festhalten, die stets grösser ist als
mechanische Zusammenhang der gebildeten zusammengeset
Atome, wird chemische Verwandtschaft oder auch Affin
genannt.

Die ganze Klasse von Erscheinungen, welche von der chemischen Verwa
schaft und von der Wechselwirkung ungleichartiger Stoffe abhängen, geh
in das Gebiet der Chemie.

20. Die in den vorhergehenden Paragraphen erörterte Vor
lung, dass die neben einander liegenden kleinsten Theile der
per in keiner unmittelbaren Berührung stehen und ihrer gan
Beschaffenheit nach ursprünglich vorhanden und unverände
seyen, heisst die atomistische Theorie.

Sie wird noch nicht von allen Physikern mit gleichem Beifalle aufger
men. Viele neigen sich mehr zu einer andern Vorstellung, deren Ausgangspu
nicht in gleichem Grade in der Erfahrung wurzeln, welche vielmehr aus
rein geistigen Anschauung der Dinge hervorgegangen ist. Sie heisst die dy
mische Theorie, weil nach ihr ursprünglich nur Kräfte vorhanden waren,

Ziehkraft und eine Dehnkraft. Die Materie ist das Resultat der Wechselwirkung dieser entgegengesetzten Kräfte; sie bildet ein stetiges Ganze und ist bis in's Unendliche theilbar.

Der Werth einer physikalischen Theorie wird bestimmt durch den Einfluss, den sie auf die Wissenschaft übt, sey es durch Aufklärung der Erscheinungen, durch Erleichterung der Uebersicht, durch Vereinfachung der Gesetze, sey es indem sie den Weg zu neuen Forschungen ebnet. Durch die dynamische Hypothese ist die Naturlehre weder in der einen noch in der andern Beziehung auch nur einen Schritt vorwärts gekommen. Gewiss ist es dagegen, dass die atomistische Ansicht für unsere Forschungen über die physische Constitution der Körper den sichersten Anhaltspunct gewährt hat und noch immer gewährt und dass wir ihr einen grossen Theil der Fortschritte der neueren Chemie und Physik verdanken.

21. Ausser den bisher erwähnten, zunächst auffallenden allgemeinen Eigenschaften der Körper gibt es noch andere, die, wenn auch vielleicht nicht weniger allgemein, doch gleichsam nur unter gewissen Bedingungen und nur vorübergehend an den Körpern wahrgenommen werden. Es hat den Anschein, als ob sie weniger innig mit dem Wesen derselben verknüpft seyen, und als ob die Ursachen, die Kräfte, von welchen sie abhängen, der bekannten Materie als Träger nicht bedürften. Diese Eigenschaften sind: Erwärmungsfähigkeit (oder auch Abkühlungsfähigkeit), Sichtbarkeit, elektrisches und magnetisches Verhalten.

Man huldigte früher ganz allgemein der Vorstellung, dass diese Eigenschaften an gewissen Stoffen hafteten, die mit den sinnlich wahrnehmbaren Stoffen nicht zu verwechseln seyen, wohl aber mit diesen letzteren Verbindungen einzugehen vermöchten. Diese hypothetischen Stoffe nannte man: Wärmestoff, Lichtstoff, elektrisches und magnetisches Fluidum, und man legte denselben mancherlei Eigenschaften bei, z. B. Gewichtslosigkeit, weil die mit ihnen in Verbindung getretenen Körper dadurch an Gewicht nicht zugenommen hatten, noch auch durch den Austritt derselben leichter geworden waren; — daher der Name Imponderabilien.

Hiernach erwärmt sich ein Körper durch Aufnahme von Wärmestoff; er wird leuchtend durch die Verbindung mit Lichtstoff; er wird elektrisch oder magnetisch, wenn er sich mit Elektricum oder mit Magneticum verbunden hat.

Obgleich die Vorstellung von den imponderablen Stoffen mit Beziehung auf die magnetischen und optischen Erscheinungen ganz unhalthar, hinsichtlich der elektrischen und Wärme-Erscheinungen wenigstens zweifelhaft geworden ist, so ist es doch dem Scharfsinne der Naturforscher bis jetzt nicht gelungen, die hierdurch fühlhar gewordene Lücke auf ganz befriedigende Weise auszufüllen.

Wenn demnach unsere Ansichten über die letzten Gründe der Wirkungen des Lichtes, der Wärme, der Elektricität und des Magnetismus noch sehr mangelhaft und unvollkommen sind, so ist es

gleichwohl geglückt, den grössten Theil der Erscheinungen, w
dieser wichtige und anziehende Theil der Physik darbiete
feste, nicht selten sehr einfache Gesetze zurückzuführen.

Vom Messen.

22. Körper, welche sich in mehreren oder selbst in allen Eigenschaften gleichen, können doch noch verschieden se Beziehung auf das Mass (Quantität), in welchem sie diese l schaften besitzen. Die Vergleichung dessen, was die Körp der Art nach, gleichen Eigenschaften, dem Mass nach Versc nes oder quantitativ Verschiedenes besitzen, heisst: Messe

Jeder Körper, welcher zu einer derartigen Vergleichung g net oder besonders dazu eingerichtet ist, jedes passende Ve chungsmittel quantitativer Verschiedenheiten heisst ein (im engeren Sinne des Wortes) oder Messwerkzeug.

Die wichtigsten und am häufigsten vorkommenden Mess sind Bestimmungen von räumlichen Grössen und von Gewi Es sind zugleich die einzigen, von welchen hier schon die seyn kann.

23. Um die körperliche Grösse oder den Rauminhalt ver dener Körper zu messen, muss ein gewisser Raum als Ausg punct der Vergleichung gewählt werden. Dieser übrigens kührlich angenommene Raum heisst Einheit des Körper ses. Der Rauminhalt eines Körpers ist gemessen, sobald da hältniss desselben zu dem der Einheit bekannt ist, oder sobal weiss, wie vielmal sich die Einheit in den zu messenden eintragen lässt.

Das Messen körperlicher Räume ist in sehr vielen Fällen direkt ausführbar. Die räumlichen Messungen können abe auf Längenmessungen zurückgeführt werden. Wie dies schieht, lehrt die Geometrie.

Das Längenmass bildet daher gewöhnlich die Grundlag Flächen- und Körpermasse. Unter allen Grössenmessunge die Längenmessungen die am häufigsten vorkommenden. S schehen aber in verschiedenen Ländern nicht mit derselben einheit.

Die Bedingungen eines praktisch werthvollen Masses Unveränderlichkeit, möglichst grosse Verbreitung quemlichkeit im Gebrauche. Die an verschiedenen Orte bräuchlichen Masse erfüllen nicht in gleichem Grade diese B gungen. Zu den verbreitetsten Massen gehören: der alte P Fuss, das Metre oder neue französische Mass, der englische nische und östreichische Fuss.

Diese, so wie die meisten guten neueren Masse sind a

Grundlage des Pariser Fusses regulirt worden, in der Weise, dass z. B.

Ein Metre gesetzlich = 443,296 P. L. (Pariser Linien.)
Ein englischer Fuss = 135,098 „ „
Ein rhein. F. gesetzl. = 139,128 „ „
Ein östreich. F. ges. = 140,125 „ „

Die gesetzlich bestimmte Länge dieser Masse wurde mit möglichster Genauigkeit und Umsicht auf Stäben von Platin, Eisen oder Messing aufgetragen, wodurch die Bedingung der Unveränderlichkeit sich am sichersten erreichen lässt. Solche durch das Gesetz anerkannte Massstäbe heissen Normalmasse. (Eine Vergleichung der gebräuchlichsten Masse findet man auf der ersten der diesem Werke angehängten Tafeln.)

Zur genauen Festsetzung sehr kleiner Längenverschiedenheiten benutzt man den Nonius, den Transversalmassstab.

24. Die Vergleichung des Gewichtes verschiedener Körper, das Wiegen, ist ebenfalls eine Messoperation. Das hierzu nöthige Mass heisst: die Gewichtseinheit. Mehrere Gewichtseinheiten, die man in der Regel zusammen gebraucht, werden vorzugsweise die Gewichte genannt. Das Gewicht eines Körpers ist gemessen, wenn das Verhältniss des Druckes, den er auf seine Unterlage ausübt, zu dem der Gewichtseinheit gefunden ist. Zur Ermittlung dieses Verhältnisses ist jedoch ausser den Gewichten noch ein besonderes Werkzeug, die Wage, erforderlich.

Der Gebrauch der Wage ist eine allgemein bekannte Sache; ihre nähere Einrichtung und Theorie kann aber erst später erklärt werden (150).

Wiegen, mit Beziehung auf die dazu verwendeten Hülfsmittel, heisst nun: die Anzahl von Gewichtstheilen bestimmen, welche einen dem zu wiegenden Körper gleichen Druck ausüben, oder deren Druck mit demjenigen des Körpers im Gleichgewichte steht.

Die Annahme der Gewichtseinheit ist eben so willkührlich wie die der Längeneinheit. Es sind daher in verschiedenen Ländern auch verschiedene Gewichte im Gebrauche. (Näheres hierüber findet man auf Taf. II.)

In diesem Werke wird als Gewichtseinheit vorzugsweise das Gramme angewendet werden.

1000 Milligramme = 100 Centigramme = 10 Decigramme = 1 Gramme.

1000 Gramme = 1 Kilogramme.

Ein Gramme reines Wasser bei seiner grössten Dichte ist = 1 Cubikcentimeter (C. C.).

1000 Gramme Wasser = 1000 C. C. = 1 Litre.

Von der Dichtigkeit der Körper und vom specifis Gewichte.

25. Die Menge (Quantität) von Materie, welche den Raum Körpers ausfüllt, heisst seine Masse.

26. Das Verhältniss der Masse eines Körpers zu seinem R inhalte (Volumen) nennt man seine Dichtigkeit.

27. Ein Körper ist dichter wie der andere, wenn er in glei Raume eine grössere Menge materieller Theile enthält. Ein K heisst verdichtet, wenn sein Raum sich vermindert hat, Aenderung seiner Masse.

Da die Körper poröse sind, da ihr Umfang durch äussere Einwirkunge grössert und auch verringert werden kann, so gestattet die Grösse ihres mes keinen unbedingten Schluss auf die Menge der darin eingeschlossene terie, oder zwei Körper von gleichem Rauminhalte können sehr ungleiche sen enthalten.

28. Das Gewicht eines Körpers ist gleich der Summe de wichte seiner Atome. Ein Körper enthält um so mehr mate Theile von gleichem Gewichte, je stärker er selbst auf die drückt; er ist also um so dichter, je mehr Gewichtstheile er in selben Raume umfasst. Wir schliessen hieraus: dass die M der Körper ihrem Gewichte proportional ist, und dass folglic Dichtigkeit auch bezeichnet werden darf: als das Verh niss des Gewichtes zu dem Rauminhalte oder Volun

Nennen wir z. B. das Gewicht von 1 C.C. Wasser die Dichtigkeit desselb ist das Verhältniss eines beliebigen Gewichtes Glas zu der Anzahl Cubik meter seines Inhalts, oder was dasselbe bedeutet, das Gewicht von 1. C.C. die Dichtigkeit des Glases u. s. w.

29. Zahlen, welche die Dichtigkeiten der Körper in de ausdrücken, dass man die ganze in der Raumeseinheit ei schlossene Gewichtsmasse von einem derselben, z. B. vom sser, zugleich als Gewichtseinheit annimmt, werden die spe schen Gewichte dieser Körper genannt.

Man findet z. B. die Gewichte von einem Darmst. K. Z. oder $\frac{1}{64}$ Litre

Wasser	15,625	Gramme.
Glas	39,063	„
Eisen	121,688	„
Blei	177,375	„
Korkholz	3,750	„

Nennt man nun das in Grammen gefundene Gewicht von einem K. Z. W. 1, z. B. ein Loth, und drückt man in dieser neuen Gewichtseinheit auch di dem Gewichte aus, so ergeben sich die specifischen Gewichte

des Wassers	1
des Glases	2,500
des Eisens	7,788
des Bleis	11,352
des Korkholzes	0,240

(Ein ausführliches Verzeichniss von specif. Gewichten findet sich Taf. I

30. Die Bestimmung des specifischen Gewichtes eines Körpers setzt voraus: Kenntniss seines (absoluten) Gewichtes, so wie seines räumlichen Inhaltes. Ersteres lässt sich immer durch die Wage ermitteln, letzteres ist aber nur in wenigen Fällen auf geometrischem Wege mit befriedigender Genauigkeit bestimmbar.

Wie man zu verfahren hat, wenn eine genaue direkte Bestimmung des kubischen Inhaltes eines Körpers nicht gut ausführbar oder ganz unmöglich ist, kann erst in der Folge gezeigt werden.

Das gefundene Gewicht, dividirt durch das gefundene Volum, gibt das specifische Gewicht.

Beispiel. Ein Stück lufttrocknes, parallelepipedisch gearbeitetes Buchenholz ist 25 Centimeter lang, 10 Cent. breit, 2 Cent. dick; es enthält also 1250 Cubikcent. und wiegt 937,5 Grm.; daher ist sein specif. Gewicht $= \frac{937,5}{1250} = 0,75$.

Von den Körperzuständen.

31. Wir beobachten die Körper in drei Aggregat-Zuständen: als feste, als flüssige und als gasförmige Körper.

Unter festen Körpern versteht man alle diejenigen, welche eine selbstständige Gestalt besitzen und deren Theile einer jeden äusseren Ursache, welche dieselben zu *verschieben* oder von einander zu trennen strebt, *einen* **mehr** oder weniger grossen Widerstand entgegen*setzen*.

Die Gestalt fester Körper ist entweder zufällig, d. h. durch zufällige äussere Umstände bedingt und ohne eine deutliche Beziehung zur inneren Beschaffenheit des Stoffes; oder sie hängt von einem gewissen regelmässigen Gefüge der Massentheile, dem sogenannten krystallinischen Gefüge ab, und bildet folglich einen Theil der Eigenthümlichkeit eines Körpers. Körper, die von ebenen Flächen eingeschlossen sind, und deren äussere Gestalt in einer sichtbaren Abhängigkeit zum inneren Gefüge steht, werden Krystalle genannt.

Das Studium der verschiedenen Krystallgestalten und ihrer Abhängigkeit vom inneren Gefüge der Körper bildet den Gegenstand der Krystallographie.

Körper ohne deutliches krystallinisches Gefüge nennt man gestaltlos (amorph), ein Ausdruck, der sich natürlich nur auf den Mangel einer gewissen Regelmässigkeit der Gestalt bezieht.

32. Die nächste Ursache der Festigkeit oder jenes Widerstandes gegen äussere Eindrücke ist die Anziehung, welche jedes materielle Theilchen gegen das andere ausübt. Wir betrachten sie als die Aeusserung

einer Kraft, welche ihren Sitz in den Atomen selbst h und der wir den Namen Zusammenhangskraft od Cohäsionskraft beilegen.

Das Daseyn einer anziehenden Kraft zwischen den materi len Theilchen genügt jedoch nicht zur Erklärung des Zustand der Festigkeit. Die Bedingung der Unverschiebbarkeit oder do nur begränzter Verschiebbarkeit setzt ausserdem eine ungleic Anziehung nach verschiedenen Richtungen, bedingt durch b stimmte Formen und Abstände der Atome, voraus. Der gegenwä tige Zustand der Physik gestattet jedoch noch keine nähere, auf de festen Boden der Erfahrung gestützte Auseinandersetzung dies Bedingungen.

33. Die Wirkungen der Cohäsionskraft erstrecke sich in wahrnehmbarer Weise nur auf diejenigen ve schwindend geringen Entfernungen, welche in der Un gangssprache mit dem Worte Berührung bezeichn werden.

Verwandelt man einen Körper, z. B. durch Zerreiben, in kleinere Stücke, zeigt sich zwischen diesen Theilchen, die jetzt nicht mehr in derselben nah Berührung stehen, wie vorher, gewöhnlich keine bemerkbare Anziehung me Gibt man aber den getrennten Theilen Gelegenheit, sich wieder an mehrer Puncten zu berühren, z. B. durch Abschleifen der Oberflächen, so kommt au wieder eine deutliche Anziehung zum Vorschein, zunehmend mit der Anzahl d Berührungspuncte; Cohäsionsplatten.

34. Eine der Cohäsion ähnliche Wirkung findet au zwischen ungleichartigen Körpern statt, wenn si dieselben eine genügende Anzahl Berührungspunc darbieten.

Anziehung zwischen abgeschliffenen und polirten Oberflächen beliebiger f ster Körper, die man auf einander legt.

Diese Anziehung, da sie nur von den unmittelbar den Oberflächen liegenden Theilen ausgehen kan wird Flächenanziehung, auch Adhäsion genann

Cohäsion und Adhäsion bezeichnet man auch mit dem gemei schaftlichen Namen Molekularanziehung, von dem Worte M leküle, Massentheilchen.

35. Die Körpertheile sind zugleich die Träger ein abstossenden Kraft, d. h. einer Kraft, welche die Ato von einander zu entfernen, oder, was dasselbe bedeute die Körper auszudehnen, zu expandiren streb daher Expansionskraft.

Die Eigenschaft der Porosität wäre ohne das Daseyn ei solchen Kraft nicht denkbar. Die Festigkeit ist eine Art Glei gewichtszustand zwischen Cohäsionskraft und Expansionskraf

Kräfte, welche der Cohäsion entgegenwirken (ziehende o dehnende Kräfte) unterstützen die Expansionskraft, d. h. sie w ken ausdehnend.

Verlängerung von Stäben von Metall, Holz, Glas u. s. w., die man am einen ide einklemmt und am andern Ende spannt, z. B. durch angehängte Gewichte. t der Verlängerung tritt gleichzeitig eine Verminderung der Dichtigkeit ein. 'ogg. Ann. B. 12. S. 516.)

Man hat gefunden, dass die Längenausdehnung (cylindrischer der prismatischer Stäbe) in etwas stärkerem Verhältnisse zuimmt, als die Zugkraft, wodurch sie bewirkt wird, und dass über eine gewisse Gränze der Spannung hinaus, eine Gränze, die übrigens bei jedem Körper verschieden ist, der Zusammenhang stets in irgend einem Querschnitte des Stabes aufgehoben wird; er wird **zerrissen.**

Ein Gewicht, welches eben hinreicht, einen aus irgend einem festen Stoffe gebildeten Stab zu zerreissen, betrachtet man gewöhnlich als ein Mass für die Grösse der Festigkeit an der Stelle, an welcher der Zusammenhang gelöst wurde. Man findet, dass die Grösse dieses Gewichtes sich verhält wie die Grösse des Querschnittes des Stabes, und nennt daher dasjenige Gewicht, wodurch ein gewisser Körper für die Einheit des Querschnittes eben noch zerrissen wird, seine **absolute Festigkeit** oder auch sein **absolutes Tragungsvermögen.**

Verschiedene Körper besitzen sehr ungleiche absolute Festigkeit; z. B. Stahl bei einem Querschnitte von 1 Preuss. Q.Z. trägt zwischen 120,000 bis 150,000 Pfund; Schmiedeeisen bei demselben Querschnitte ungefähr 70,000 Pfund; Kupfer höchstens 40,000, Bleidraht noch nicht 4000 und weisses Glas nur 2800 Pfund. Das Tragungsvermögen der Hölzer schwankt zwischen 10—20,000 Pfund nicht nur je nach der Natur des Holzes und dem Orte, wo es gewachsen ist, sondern auch je nachdem es vom Splint oder vom Kern genommen ist.

Durch äussere Kräfte, welche in gleichem Sinne wie die Cohäsion wirken, oder welche der Expansion entgegengesetzt sind, werden die Körpertheile einander genähert; es findet Zusammendrückung statt. Der Widerstand eines Körpers gegen das Zusammendrücken wird **rückwirkende Festigkeit** oder **rückwirkendes Tragungsvermögen** genannt.

Die Anwendung der Hanfseile und der Ketten gründet sich auf die absolute Festigkeit ihres Stoffes, das Tragungsvermögen der Grundmauern auf die rückwirkende Festigkeit der dazu verwendeten Baumaterialien.

36. Alle festen Körper können unter der Einwirkung äusserer Kräfte gedehnt und zusammengedrückt, ihre einzelnen Theile von einander entfernt und einander genähert, aus der ursprünglichen Lage verrückt und verschoben werden. Haben aber diese Wirkungen gewisse Gränzen nicht überschritten, so stellt sich nach Entfernung der Ursachen, wodurch sie herbeigeführt wurden, die ursprüngliche Gestalt und der ursprüngliche Umfang, kurz das ursprüngliche Gleichgewichtsverhältniss zwischen Cohäsionskraft und Expansionskraft vollständig wieder her. Diese Eigenschaft der festen Körper heisst **Elasticität.**

Jeder feste Körper ist elastisch, aber keiner ist es in einem

vollkommenen Grade: denn wenn die durch äussere Ursac wirkten Aenderungen der Form über eine gewisse Grä Elasticitätsgränze, die bei jedem Körper von seiner bes Beschaffenheit abhängt, hinausgehen, kehrt der frühere nicht ganz zurück; die Kräfte, von welchen derselbe al war, treten in ein anderes Gleichgewichtsverhältniss.

Vorübergehende Veränderungen der Gestalt fester Körper durch Zu Biegung, Drehung. Diese Aenderungen sind theilweise bleibend, wenn zen der Elasticität überschritten werden. Ueberschreitet man aber Gränzen der Dehnbarkeit eines Körpers, so wird derselbe, je nach de Einwirkung, zerrissen, zerdrückt, zerbrochen, abgedreht.

Manche Körper können, ohne zu zerreissen, weit üb Elasticitätsgränze hinaus gedehnt werden, indem ihre Th sich verschieben und in eine andere, oft augenscheinlich derte Art des Zusammenhanges eintreten, z. B. statt des k ein fasriges Gefüge annehmen. Diese Eigenschaft heisst keit.

Gold, Kupfer, Eisen, Blei, zum Glühen erhitztes Glas, Kautschuck Pech sind zähe Körper.

Mehrere Metalle, die einen hohen Grad der Zähigkeit l und dadurch befähigt sind, sich dehnen, biegen oder in Art bearbeiten zu lassen, ohne ihren Zusammenhang einzu werden insbesondere streckbare Metalle genannt.

Platin, Gold, Silber, Kupfer, Eisen, Zinn, Blei, Zink, Messing. Schm keit, Hämmerbarkeit, Walzbarkeit, so wie die Fähigkeit, sich z ziehen zu lassen, sind nur Abarten der Streckbarkeit.

Solche Körper, die bei grosser absoluter Festigkeit nur Zähigkeit besitzen, also keine bedeutende Verschiebun kleinsten Theile gestatten, heissen harte Körper. Diamar Stahl.

Weich werden diejenigen genannt, deren Theile durch Einwirkungen leicht getrennt oder doch verschoben werd nen. Kalk, Gyps, Wachs, Holz, Blei, Zink.

Weiche Körper, wenn sie zugleich zähe sind, wie da oder sehr elastisch, wie Holz, Kautschuck, können glei eine grosse absolute Festigkeit besitzen. Körper, die mit Weiche Zähigkeit verbinden, nennt man auch geschme

Diejenigen Körper, deren Zähigkeit so gering ist, d keine Dehnung über die Elasticitätsgränze hinaus ertrage nen, werden spröde genannt. Gehärteter Stahl, Glas, Harz

37. Unter dem Namen „flüssige Körper" werden a jenigen begriffen, deren Theile durch die geringste Kraftäus über und unter einander bewegt werden können und wel folge dieser grossen Verschiebbarkeit ihrer Theile keine ständige Form behaupten können, z. B. in Gefässen aufb immer die Gestalt derselben annehmen müssen. Die Flüssi

zerfallen in zwei Klassen, in tropfbare und ausdehnsame Flüssigkeiten (Gase).

38. Die tropfbaren Flüssigkeiten charakterisiren sich zunächst durch das Streben zur Tropfenbildung. Ihre Theile setzen einer jeden äusseren Einwirkung, welche sie von einander zu trennen sucht, einen bestimmbaren Widerstand entgegen. Von einander gerissen und wieder in Berührung gebracht, vereinigen sie sich mit grosser Leichtigkeit wieder. Die Cohäsionskraft zeigt sich also bei tropfbaren Flüssigkeiten in deutlicher, ja messbarer Wirksamkeit. Aber ein Theilchen im Innern der Masse übt sie nach allen Richtungen mit gleicher Stärke, und hierin (wie man in der Folge vielleicht deutlicher einsehen wird) liegt der Grund, dass die flüssigen Theile im Innern der Masse gleichwohl eine vollkommene Verschiebbarkeit besitzen.

Die Theilchen an der Oberfläche widersetzen sich bis zu einem gewissen Grade der Verschiebung, und durch äussere Ursachen aus ihrer Lage gebracht, kehren sie nach Entfernung dieser Einwirkung wieder in dieselbe zurück, d. h. sie sind elastisch. In diesem Umstande liegt denn auch — was ebenfalls in der Folge erst ganz deutlich gemacht werden kann — die Ursache der Tropfenbildung.

39. *Ueberall*, wo Flüssigkeiten mit den Oberflächen fester Körper *in Berührung* treten, äussert sich zwischen denselben eine *bemerkbare*, oft sehr starke Flächenanziehung.

Diese Anziehung erhält den Namen Benetzbarkeit, wenn sie stärker ist als das Streben zur Tropfenbildung, dergestalt, dass ein Tropfen der Flüssigkeit über der Oberfläche des festen Körpers zerfliesst.

Z. B. Eisen, Glas, Holz werden vom Wasser, — Gold, Silber, Zinn vom Quecksilber benetzt; Eisen und Glas benetzen sich nicht im Quecksilber, mit Fett getränktes Holz nicht im Wasser.

Feste Körper, deren Oberflächen von einer Flüssigkeit benetzt werden, bleiben, wenn man sie mit letzterer in Berührung bringt und dann davon losreisst, mit einer flüssigen Schicht bedeckt, deren Anziehung zu der übrigen Flüssigkeit also hat überwunden werden müssen. Hierdurch erhalten wir ein Mittel, die Grösse der gegenseitigen Anziehung der flüssigen Theile zu messen.

40. Mit dem Namen ausdehnsame oder gasförmige Flüssigkeiten, Gase, werden alle diejenigen flüssigen Körper bezeichnet, deren Theile, wie die der atmosphärischen Luft, bei der vollkommensten Beweglichkeit nicht die geringste Spur einer gegenseitigen Anziehung erkennen lassen.

Die Gase sind in geschlossenen Gefässen und durch äusseren Druck, z. B. in einem cylindrischen Rohre, dessen eines Ende verschlossen ist und an dessen anderem Ende man einen wohl anschliessenden Stämpel eintreibt, in hohem Grade zusammendrückbar (compressibel). Man nennt sie daher auch zusammendrückbare oder compressible Flüssigkeiten, im Gegensatze zu den tropfbaren, die sich nur sehr wenig durch äusseren Druck verdichten lassen, und aus

diesem Grunde zuweilen unzusammendrückbare (incompressible) Flüssigke
genannt werden.

Verdichtete Gase nehmen, wenn die äussere Einwirkung nachgelassen
ihren früheren Umfang vollständig wieder ein; z. B. der in einem cylindrisc
Rohre eingetriebene Stämpel springt wieder zurück. Man hat ihnen desshalb a
den Namen elastische Flüssigkeiten gegeben.

Die Gase besitzen übrigens die Eigenschaft der Elasticität nicht ganz in
Sinne wie die festen Körper. Ihre Theile äussern keine Anziehung, sondern
Druck gegen einander. Sie besitzen daher das Bestreben, ihren Raum zu v
grössern (Ausdehnsamkeit, Expansibilität) bei jedem Grade der Dichtigk
vermögen sich aber nicht freiwillig wieder zusammenzuziehen.

Sitzt in dem vorerwähnten cylindrischen Rohre der Stämpel am Boden
und zieht man ihn hervor, so dass inwendig ein luftleerer Raum entsteht,
wird er, sich selbst überlassen, mit Gewalt wieder nach Innen getrieben.
man ihn und setzt den äusseren Raum mit dem inneren durch die Oeffnung ei
Hahnes in Verbindung, so dringt die Luft mit Geräusch ein. Verschliesst man
Hahn erst dann, wenn keine Luft mehr eindringt, so geht der Stämpel nicht m
freiwillig zurück. Setzt man den luftleeren Raum des Cylinders nicht mit d
ganzen äusseren Raume, sondern nur mit einem luftenthaltenden Glasgefäss
Verbindung, so strömt gleichwohl ein Theil dieser Luft in den leeren Cylin
Befindet sich zugleich in dem Glasgefässe eine nur theilweise mit Luft erfü
und zugebundene Schweinsblase, so schwillt sie an. Die Luft äussert also,
sie verdichtet oder nicht, unverkennbar einen Druck gegen die Oberflächen
Körper; sie strebt, sich nach allen Richtungen auszubreiten und in jeden Ra
einzudringen, der noch gar keine oder eine weniger dichte Luft enthält.

Die Eigenschaft der kleinsten Theile der Gase, einander abzustossen o
zu drücken und diesen Druck selbst auf die Oberflächen nicht gasförmig
Körper fortzupflanzen, heisst auch Spannkraft, Expansivvermögen.

II. Von der Wärme und ihrem Einflusse auf di Beschaffenheit der Körper.

41. Alle Körper können die Eigenschaft annehmen, in unse
Gefühlsorganen in den mannichfaltigsten Abstufungen der Stä
diejenigen Empfindungen hervorzubringen, welche mit den W
ten: Wärme, Hitze, Kälte bezeichnet werden.

42. Die Körper gewinnen diese Eigenschaft und verlieren
wieder, sie äussern dieselbe bei unmittelbarer Berührung und a
der Entfernung, ohne dass ihre wägbare Masse dabei irgend
oder abnimmt. Man hat daher die genannten Empfindungen von d
Gegenwart oder Abwesenheit eines eigenthümlichen Stoffes ab
leitet, den man Wärme oder Wärmestoff genannt hat. Die Wär
ist nach dieser Vorstellung eine unsichtbare, gewichtslose und
feine Flüssigkeit, dass sie leicht in die Poren aller Körper e
dringt. Sie wird von den Atomen aller wägbaren Materie ang
zogen; aber gegen einander selbst üben die neben einander l
genden Theile des Wärmestoffes eine sehr starke Abstossung (
pansibilität), und erhalten dadurch die Fähigkeit, sich nicht nur
jedem freien Raume, sondern auch in den Poren der Körper
verbreiten.

Die Empfindung von Wärme (Hitze) erklären wir demzufolge aus ein

lusse des Wärmestoffes in unseren Körper; die Empfindung von Kälte aus em Abflusse von Wärmestoff. Wir nennen einen Körper warm, wenn aus sei- n Raume Wärme in den unsrigen übertritt; kalt, wenn das Umgekehrte statt det. *)

43. Die jedesmalige Stärke des Wärmegefühles eines Körpers d im Allgemeinen die jedesmalige Stärke (der Grad), womit die ihm vorhandene Wärme sowohl auf seine eigene Masse, wie uf diejenige der Umgebung einwirkt, heisst seine Temperatur.

Die Ausdrücke: heiss, warm, lau, kühl, kalt sind Namen für verschiedene bstufungen oder Höhen der Temperatur, abgeleitet von dem jedesmaligen efühlseindrucke.

Wir sagen: die Temperatur eines Körpers nimmt zu, oder er erwärmt sich, enn er sich heisser anfühlt als vorher; seine Temperatur nimmt ab, er erkal- t, wenn er sich weniger warm anfühlt als vorher.

Als Ursache des Steigens der Temperatur betrachtet man eine Zunahme des n den Poren eines Körpers enthaltenen Wärmestoffes; als Ursache der Abnahme der Temperatur, einen Abfluss von Wärmestoff.

44. Die Temperatur der Körper ist gewöhnlich nichts Bleiben- les; man beobachtet beinahe fortwährend entweder eine Zunahme oder Abnahme derselben. Ein Körper, der mit wärmeren in Berüh- rung steht, oder auch nur aus der Ferne von ihnen umgeben ist, erwärmt sich, während die Temperatur der Umgebung abnimmt. Ist ein Körper von kälteren umgeben, so erkaltet er ebenfalls. Es muss hieraus geschlossen werden, dass ein Körper, indem er an- dern Wärme mittheilt, selbst verliert.

Um dieses Verhalten zu erklären, nimmt man an, dass die Ex- pansivkraft der Wärme in geradem Verhältnisse zu ihrer Dichtig- keit stehe, und dass in den Poren des wärmeren Körpers immer auch ein dichterer Wärmestoff enthalten sey. Die Wärme muss da- her aus dem Körper von höherer Temperatur austreten und sich verdünnen, in den von niederer Temperatur eindringen und sich verdichten, so lange bis überall gleiche Dichtigkeit und Tempe- ratur herrscht. Die Temperatur ist hiernach nichts Anderes, als die jedesmalige Grösse des Bestrebens, womit der im Umfange eines Körpers enthaltene Wärmestoff sich auszubreiten oder nach der Umgebung fortzupflanzen sucht.

Man begreift jetzt, dass andere Körper, die mit dem unsrigen in Berührung kommen, demselben Wärme abtreten oder entziehen müssen, je nachdem sie wärmer oder kälter sind, und hierauf gründet sich unser Urtheil über die Tem-

*) Gegen die Richtigkeit der Vorstellung von einer Wärmematerie sind in der neuesten Zeit wohlbegründete Zweifel erhoben worden, und man hat wahr- scheinlich zu machen gesucht, dass die fühlbare Wärme nichts Anderes sey, als eine Folge anhaltender Erschütterungen der kleinsten Theile, Er- schütterungen, die sich von einem Körper auf den andern fortzupflanzen vermöchten. Diese neuere Hypothese, obschon sie, wie wir später sehen werden, Manches für sich hat, ist doch gegenwärtig jedenfalls noch nicht ausgebildet genug, um sich ihrer als einziger Grundlage zur Erklärung der Wärmeerscheinungen mit Erfolg bedienen zu können.

peratur der Körper. Grossen Einfluss auf dieses Urtheil hat freilich die Sch
ligkeit, womit die Entziehung oder Mittheilung stattfindet, während doch,
wir sogleich sehen werden, die Schnelligkeit der Wärmebewegung nicht
der Temperaturverschiedenheit allein abhängt. Zudem findet man, dass der
genblickliche Zustand des menschlichen Körpers auf sein Urtheil über Wär
eindrücke nicht ohne Bedeutung ist. Der Ausspruch des Gefühls lässt dahe
Beschaffenheit der Temperaturveränderungen nicht mit Zuverlässigkeit
kennen.

45. Wenn die Wärme sich in der Masse eines Körpers von ei
Stelle zur andern fortpflanzt, oder wenn sie von einem Körper
andern durch Berührung mitgetheilt wird, so sagt man, sie we
geleitet, und die Eigenschaft eines Körpers, der Wärme den Dur
gang, so wie den Uebertritt zu andern Körpern bei der Berühr
zu gestatten, heisst Leitungsvermögen, Leitfähigkeit.

Die oberflächlichste Vergleichung der Körper lehrt, dass ihre Fähigkeit,
Wärme zu leiten, sehr ungleich ist; z. B. eine Kohle, die nur an einem
glühend ist, kann man ganz nahe der glühenden Stelle ohne Bedenken mit
Fingern ergreifen; ganz anders verhält sich glühendes Eisen.

46. Körper, welche, wie das Eisen, die Wärme leicht du
ihre Masse fortpflanzen, heissen gute, solche, die sich wie
Kohle verhalten, schlechte Wärmeleiter.

Man überzeugt sich leicht, und ohne andere Hülfe, als das *Gefühl*, d
die Metalle, und insbesondere die edlen, gute Wärmeleiter sind; dass G
Porzellan, Stein weit schlechter leiten, und dass Holz, Kohle, Wolle, Ha
Seide, Federn, Stroh u. s. w. zu den schlechtesten Leitern der Wärme gehö
Auch die Luft ist ein sehr schlechter Wärmeleiter, denn eine Luftschicht z
schen zwei leitenden Flächen, z. B. zwischen zwei Metallplatten, unterbrich
Fortpflanzung der Wärme fast gänzlich, während dieselben Platten, auf eina
gelegt, die Wärme leicht durchlassen. Doppelte Wände, Thüren, Fenster.

Die guten Leiter erwärmen sich leicht, kühlen sich aber auch leicht ab.
schlechten Leiter nehmen die Wärme weit langsamer auf, aber einmal erwä
halten sie dieselbe besser zurück. Die ersteren fühlen sich daher bei gleich
driger Temperatur kälter, bei gleich hoher Temperatur wärmer an, als die l
teren. Handgriffe von Holz schützen vor Hitze; wollene, seidene Kleider ha
warm, d. h. sie gestatten nicht einen raschen Abfluss der Körperwärme.

47. Der Uebergang der Wärme von einem Körper zum and
erfordert eine unmittelbare Berührung derselben nicht als nothw
dige Bedingung, er kann vielmehr durch sehr beträchtliche Z
schenräume stattfinden. Die Wärmemittheilung aus der Entfern
heisst Strahlung (Wärmestrahlung).

Die Sonne erwärmt unsere Erde ausschliesslich durch Strahlung. Der W
meeindruck brennender oder glühender Körper, auch des heissen Stubenof
auf die Umgebung geschieht vorzugsweise durch Strahlung.

Die strahlende Wärme unterscheidet sich von der geleiteten durch
Schnelligkeit ihrer Einwirkung, sobald wir dem Körper, der sie aussendet,
genüber kommen.

Die ausführlichere Darstellung der Bewegungsgesetze der Wärme mü
wir uns für die Folge vorbehalten.

48. Der Wechsel der Temperatur eines Körpers ist stets
einer Veränderung seines Umfangs begleitet. Zunahme der T
peratur dehnt die Körper aus; bei abnehmender Temperatur

ten sie sich zusammen, in der Weise, dass jeder durch seine ganze Masse gleichartige Körper für eine gewisse Temperatur auch einen gewissen Umfang hat. Diese Eigenschaft ist allen Körpern gemein. Die festen Körper werden aber weniger stark, als die Flüssigkeiten, und diese weniger stark, als die Gase ausgedehnt.

Die Ausdehnung der Körper durch die Wärme ist eine unmittelbare Folge der Ausdehnsamkeit des Wärmestoffes und der Eigenschaft der wägbaren Materie, ersteren anzuziehen, wodurch die gegenseitige Abstossung seiner Theile auf die wägbaren Atome übertragen und wodurch die gegenseitige Anziehung der letzteren theilweise aufgehoben wird.

Man kann sich vorstellen, dass jedes Körperatom vermöge seiner Anziehung zu dem Wärmestoffe sich mit einer Atmosphäre von Wärme umgibt, deren Theile im Vergleich zu der Grösse des Atoms überaus klein sind, und welche folglich zu letzterem in weit näherer und innigerer Beziehung als zu anderen entfernter liegenden Körperatomen stehen können. Die Cohäsionskraft hat ihren Sitz in den Körperatomen selbst, sie ist von begränzter Grösse und ihre Wirksamkeit kann durch eine ihr gleiche und entgegengesetzte Kraft zernichtet werden. Die Expansionskraft haftet nicht an der wägbaren Materie selbst, sie ist nur eine Folge der gegenseitigen Abstossung der Wärmeatmosphären; sie muss daher mit der Temperatur, d. h. mit der Dichtigkeit des um jedes Körperatom herum vertheilten Wärmestoffes, zunehmen und je nach ihrer Grösse einen Theil der Cohäsion zernichten.

19. Da die Veränderungen der Temperatur eines Körpers stets von Aenderungen seiner räumlichen Grösse begleitet sind, so lässt sich auch umgekehrt aus den letzteren ein Schluss auf die ersteren ziehen. Jede Vorrichtung, geeignet, die von der Wärme abhängigen Zusammenziehungen und Ausdehnungen eines Körpers wahrzunehmen, kann daher als Anzeiger der Temperatur-Veränderungen, als Thermoscop dienen.

Ein Thermoscop heisst empfindlich, wenn es geringe Temperaturverschiedenheiten schnell und unzweideutig angibt.

Die empfindlichsten, auf die Ausdehnung der Körper gegründeten Wärmeanzeiger sind die Luftthermoscope.

Thermoscop von Cornelius Drebbel (Fig. 1). Differentialthermoscop von Leslie, Rumford (Fig. 2) und von Schmidt (Fig. 3). Das letzte gründet sich eigentlich nicht auf die Ausdehnung der Luft, sondern auf die des Aethers, wenn er in Dampfgestalt (Luftgestalt) übergeht.

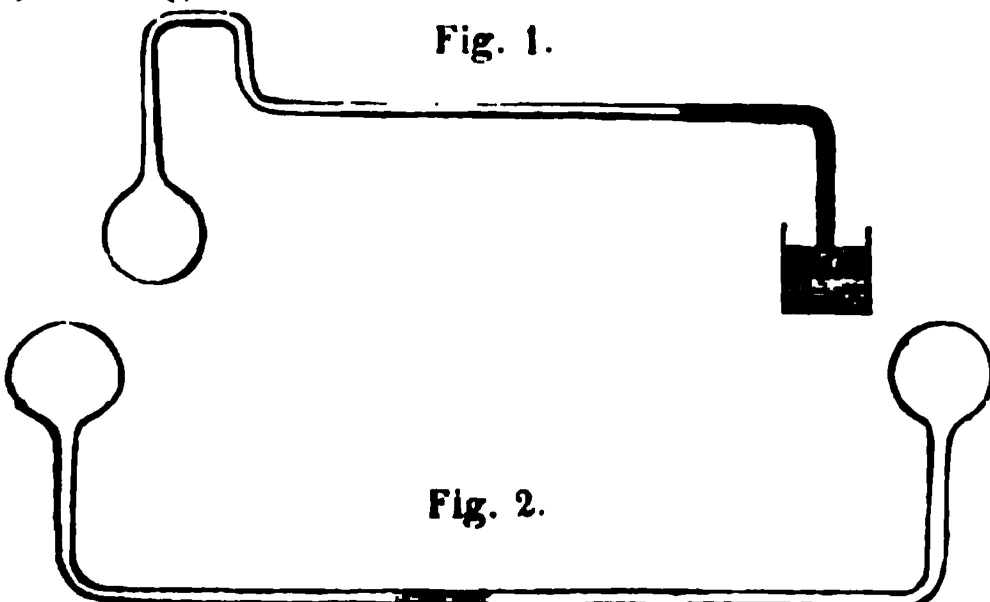

Fig. 1.

Fig. 2.

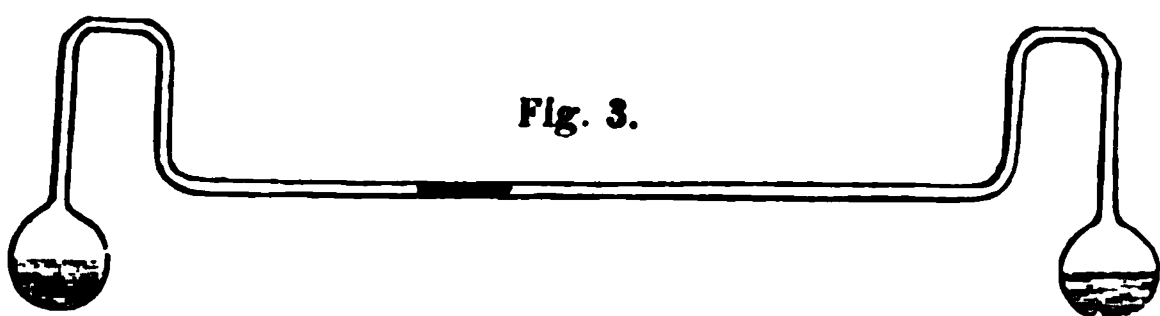

Fig. 3.


Fig. 4.

Die tropfbaren Flüssigkeiten dehnen sich, in wärmere Umgebung gebracht, nicht nur weit wei sondern auch weit langsamer aus, als die Gase. U Ausdehnung derselben recht deutlich wahrnehmba chen und zur Anzeige von Temperaturverschiede ten benutzen zu können, müssen sie in kugelfö oder cylindrische Glasbehälter von sehr geringen fange, die in ein cylindrisches, verhältnissmässig weit engeres Glasrohr ausgehen (Fig. 4), eingese sen werden. Je nach der angewendeten Flüssigke hält man auf diese Weise: Weingeist-, Oel-, Que berthermoscope u. s. w.

Vorkehrungen, wodurch der wirkliche Werth dei dehnung dem Auge vergrössert vorgestellt wird, noch nöthiger bei den festen Körpern, weil ihr Un durch die Wärme sehr wenig zunimmt.

50. Die festen Körper, indem sie sich ausdehnen, vermi ihren Zusammenhang (ihre absolute Festigkeit nimmt ab) an kaum bemerkbar, aber bei steigender Temperatur immer m cher, und zuletzt treten fast alle, die einen früher, die andern s in den flüssigen Zustand; sie schmelzen.

Unter den bekannteren Körpern ist die Kohle der einzige, welcher bi nicht geschmolzen werden konnte; wohl aber gibt es viele, die bei er Temperatur, noch ehe sie schmelzen konnten, eine chemische Zersetzu leiden, d. h. in verschiedenartige Bestandtheile zerlegt werden.

Die Temperatur, wobei ein fester Körper flüssig wird, heiss Schmelzpunct. Diese Uebergangstemperatur ist bei den me Körpern sehr scharf bezeichnet. Umgibt man z. B. ein Therm mit schmelzendem Eise oder Schnee, so bemerkt man zwa fangs eine Aenderung des Volums der in dem Rohre enthal Flüssigkeit, eine Zusammenziehung; sie hört aber bald auf es findet keine weitere Veränderung statt, so lange man auc Versuch fortsetzen mag. Wir müssen hieraus schliessen, das Thermoscop die Temperatur seiner nächsten Umgebung, nämlic des schmelzenden Eises, angenommen hat, und dass diese un änderlich ist. Ganz ähnlich verhält sich ein Thermoscop im sc zenden Schwefel, in einem schmelzenden Metalle und in a schmelzenden Körpern. Die Schmelzpuncte der Körper sind feste Temperaturpuncte.

51. Die festen Körper verflüssigen sich beim Eintritte

Schmelzpuncte nicht plötzlich durch ihre ganze Masse. Man findet vielmehr, dass nur ein Theilchen nach dem andern flüssig wird und sich von der festen Masse ablöst. Während der Dauer dieses Ueberganges behauptet nicht nur der noch fest gebliebene Theil, sondern auch der flüssig gewordene, die Schmelztemperatur.

Geschmolzene Körper kehren durch Abkühlung in den festen Zustand zurück, aber auch nicht plötzlich durch ihre ganze Masse. Es erstarrt vielmehr ein Theil nach dem andern. Auch während dieses Ueberganges und so lange noch flüssige Theile vorhanden sind, behauptet die ganze Masse eine feste Temperatur, nämlich die Schmelztemperatur.

Die schmelzbaren Körper haben also die merkwürdige Eigenschaft, jeder bei einer gewissen Temperatur, zugleich im festen und im flüssigen Zustande verweilen zu können, und diese Temperatur bleibt, von welcher Beschaffenheit auch die Umgebung seyn mag, unveränderlich, so lange noch flüssige und feste Theile desselben Körpers vermengt sind.

52. Flüssigkeiten, welche durch Einwirkung der Wärme keine chemische Zersetzung erleiden, werden bei genügender Erhöhung ihrer Temperatur verflüchtigt, d. h. sie gehen in den ausdehnsam flüssigen Zustand über, oder ihre Theile nehmen einen dem gasförmigen ähnlichen Zustand vollkommner Beweglichkeit und Ausdehnsamkeit an. Die unter dem Einflusse der Wärme gasförmig gewordenen Flüssigkeiten werden Dämpfe genannt.

Die Dampfbildung ist gewöhnlich von einem mehr oder weniger heftigen Aufwallen der Flüssigkeit begleitet, welches, wie eine genauere Beobachtung, hauptsächlich bei durchsichtigen Flüssigkeiten und in durchsichtigen Gefässen, lehrt, die Folge des Aufsteigens zahlreicher Glasblasen (Dampfblasen) ist, die sich unterhalb der flüssigen Oberfläche an den erhitzten Gefässwänden erzeugen. Diese Erscheinung heisst: das Sieden.

53. Jede chemisch reine Flüssigkeit, deren Zusammensetzung durch das Sieden nicht geändert wird, behauptet während der ganzen Dauer dieses Vorganges eine feste Temperatur. Man nennt sie ihren Siedpunct. Dieselbe Temperatur besitzen die Dämpfe, so lange sie vor dem abkühlenden Einflusse der äusseren Umgebung geschützt sind. Bei dieser und jeder stärkeren Erwärmung erscheinen sie vollkommen klar und durchsichtig, wiewohl nicht immer farblos. Da sie, wie die Luft, Spannkraft und einen hohen Grad von Beweglichkeit besitzen, so verdrängen sie allmählig die Luft aus der nächsten Umgebung der siedenden Flüssigkeit, dergestalt, dass aus einem Gefässe, worin man z. B. Wasser oder Weingeist im Sieden erhält, zuletzt alle Luft vertrieben wird.

Durch Abkühlung kehren die Dämpfe in den Zustand der tropfbaren Flüssigkeit zurück.

Daher das Ansetzen von Tropfen an den Innenwänden der Siedegefäs an jedem kälteren Körper, der mit den aufsteigenden Dämpfen in Beri kommt; daher die Bildung von Nebeln über der siedenden Flüssigkeit i da, wo die Dämpfe sich mit der kälteren Luft vermengen.

Das Quecksilberthermometer.

54. Ein beliebiger, übrigens durchaus gleichartiger Körper sen lineare Dimensionen bei einem festen Temperaturpuncte ge sen sind, wenn er nachher höher erwärmt oder abgekühlt und dadurch seinen Umfang geändert hat, erhält, zu derselbe sten Temperatur zurückgebracht, genau wieder dieselben Di sionen wie früher. Jeder Körper besitzt also die Eigenschaf eine gewisse Temperatur einen gewissen Umfang anzuneh der mit derselben Temperatur auch regelmässig wiederkehrt.

Aus dem bei irgend einer Temperatur gemessenen Raumin eines Körpers (z. B. der Flüssigkeit des Thermoscops) kö wir folglich den Wiedereintritt derselben Temperatur mit Siche nachweisen, und wir gewinnen durch die Berücksichtigung d Erfahrungsgesetzes ein wirkliches Mass zur Bestimmung von peraturverschiedenheiten, ganz von derselben Genauigkeit, unsere Hülfsmittel, räumliche Verschiedenheiten zu messen.

55. Jede Vorrichtung, die dazu dient, die Umfangsveränd gen, welche ein Körper durch die Einwirkung der Wärme und zwischen festen Temperaturgränzen erfährt, sicher und mit b digender Genauigkeit zu messen, und die eben dadurch die lichkeit verschafft, gewisse Temperaturen immer wieder zu e nen, heisst **Thermometer** oder **Wärmemesser**.

56. Unter allen derartigen Vorrichtungen hat man das **Qu silberthermometer** als das brauchbarste erkannt. Es be aus einem sehr engen cylindrischen Glasrohr (gewöhnlich e Haarröhrchen), welches in gleiche Raumtheile abgetheilt, a nen Ende zu einem, im Verhältnisse zum innern Durchmesse Rohres sehr geräumigen, reines Quecksilber enthaltenden Ge erweitert, am andern Ende aber zugeschmolzen ist. Der Be ist bald kugelförmig, bald cylindrisch und bis zu irgend e Theilstriche des Rohres mit dem Quecksilber vollständig a füllt. Der cylindrische Raum über dem letzteren ist luftleer.

Durch Erwärmen steigt das Quecksilber über den Theils in dessen Höhe es zuerst beobachtet wurde. Bei'm Erkalten es unter denselben.

Auf der getheilten Linie, welche die gleichen Abtheilu des Rohres bezeichnet, der sogenannten **Scala** des Thermom sind zwei feste Temperaturpuncte, nämlich der des schmelze Eises und der des siedenden Wassers, besonders angemerkt. Unterschied zwischen diesen beiden festen Temperaturen is

rundeinheit des Masses für alle Wärmemessungen. Es ist einleuchend, dass, so ungleich auch die lineare Entfernung dieser beiden uncte bei verschiedenen Thermometern seyn mag, die zwischen eiden enthaltene Quecksilbermenge doch stets denselben proporionalen Theil des ganzen Quecksilberinhaltes oder dieselbe Ausdehnungsgrösse ausmachen muss. Dasselbe gilt aber auch für die Hälfte, das Drittel und überhaupt jeden Bruchtheil dieser Länge.

Man pflegt den Raum zwischen beiden festen Puncten nicht in eine willkührliche, sondern durch Uebereinkunft bestimmte Anzahl gleicher Unterabtheilungen oder Grade zu bringen.

Das Celsius'sche Thermometer hat vom Schmelzpuncte bis zum Siedpuncte 100 Grade; das Reaumür'sche 80 Grade. Bei beiden ist der Schmelzpunct des Eises mit 0 bezeichnet, und von da aus werden die Grade aufwärts und abwärts gezählt. Zur Unterscheidung, wo Zweifel entstehen könnten, setzt man den ersteren das Zeichen +, den letzteren das Zeichen — vor.

Es ist noch eine dritte Thermometerscala, die Fahrenheit'sche (insbesondere in England) gebräuchlich. Bei dieser wird der Schmelzpunct mit 32, der Siedpunct mit 212 bezeichnet; zwischen beiden liegen also 180 Grade.

In diesem Buche ist bei Temperatur-Angaben, wo etwas Anderes nicht ausdrücklich bemerkt wird, stets die Celsius'sche oder hunderttheilige Scala gemeint. Reductionen der drei Thermometerscalen auf einander werden sehr häufig nothwendig. Sie geschehen leicht, indem man sich erinnert, dass 10° C. = 8° R. = 18° F. sind, und indem man zu den auf Grade F reducirten Abtheilungen der andern Scalen jedesmal 32 hinzufügt, dagegen von der beobachteten Zahl Fahrenheit'scher Grade vor der Reduction auf eine der andern Scalen, jedesmal 32 abzieht.

Die Güte und Brauchbarkeit eines Quecksilberthermometers hängt davon ab, ob die Scala unverrückbar und dem Einflusse der Witterung nicht unterworfen ist (am besten wird die Theilung auf dem Thermometerrohr selbst angebracht); ob die Unterabtheilungen genau gleichen Raumtheilen entsprechen (Correctionsmethode von Bessel, Pogg. Ann. 6, S. 287; Schumacher's Astronomisches Jahrbuch für 1843. S. 66); ob der Schmelz- und Siedpunct richtig angebracht sind (Verrückung des Gefrierpunctes, Pogg. Ann. 16, S. 335); ob sich irgends zwischen dem Quecksilber Schmutz, Feuchtigkeit oder Luft eingenistet hat, endlich ob das Instrument einen genügenden Grad der Empfindlichkeit besitzt.

57. Die Beurtheilung der Temperatur eines Körpers mittelst des Thermometers oder aus der Ausdehnung des Quecksilbers beruht auf dem Erfahrungssatze, dass ersterer mit letzterem in Berührung gebracht, demselben entweder von seiner eigenen Wärme mittheilt, oder auf dessen Unkosten sich selbst erwärmt. Die Masse des Thermometers darf daher immer nur einen kleinen Bruchtheil von derjenigen Masse betragen, deren Temperatur erforscht werden soll.

Mass der Ausdehnung der Körper durch die Wärme

1. Feste Körper.

58. Die Ausdehnung fester Körper durch die Wärme zwisc 0 bis 100° und selbst mehrere Grade unter 0 und über 100° l gleichen Schritt mit der des Quecksilbers im Thermometer. Mit dern Worten: die Zunahmen des räumlichen Inhaltes fester Kör verhalten sich wie die Zunahmen der Temperatur.

Z. B. eine Messingstange von 540 Linien Länge, bei 0° gemessen, die 0—10° um 0,1 Linie sich verlängert, wird von 0—20° sich um 0,2 Lin. a dehnen, bei —10° wird sie nur 539,9 Linien lang seyn u. s. f.

59. Verschiedene feste Körper dehnen sich zwischen gleic Temperaturgränzen ungleich stark aus.

Z. B. zwischen 0—100° beträgt die Verlängerung einer Zinkstange $^1/_{339}$, einer Glasstange $^1/_{1161}$ der Länge bei 0° (Siehe Taf. IV).

Diese ungleiche Ausdehnbarkeit bewirkt, dass vershiedenartige Met streifen, die man der Länge nach zusammenlöthet, sich bei jeder Temperat veränderung krümmen, und dass Verbindungen verschiedenartiger fester Kör wie Mauerwerk mit Eisen u. d. m., wenn nicht jeder derselben dem ihm eig thümlichen Bestreben, sich auszudehnen und zusammenzuziehen, frei nachgel kann, in keinem dauernden Zusammenhange bleiben können; denn die Ausde nung und Zusammenziehung fester Körper geht mit einer ausserordentli grossen, fast unwiderstehlichen Gewalt vor sich. Feste Körper, die bei der E wärmung verhindert werden sich auszudehnen, verhalten sich gerade so, würden sie durch äussere Kräfte zusammengedrückt; beim Erkalten verh dert, sich zusammenzuziehen, treten ihre Theile in einen ähnlichen Zustand Spannung, wie er durch dehnende Kräfte herbeigeführt wird. Daher Zerreis oder doch Vermehrung der Sprödigkeit. Stahl durch das Härten, auch G durch rasches Abkühlen werden specifisch leichter und spröde (Glasthräne Ungleiche Erwärmung und dadurch ungleiche Ausdehnung an verschiede Stellen desselben Körpers bewirkt häufig Störung des Zusammenhanges, z bei Glasgefässen.

60. Man hat hauptsächlich die Längenausdehnung fester Kör gemessen. Eine genaue Bestimmung derselben wird dadurch schwert, weil die zu messende Veränderung immer nur einen kl nen Bruchtheil der anfänglichen Länge ausmacht und weil, wä rend die Temperatur des zu prüfenden Körpers erhöht wird, d jenige des Massstabes unverändert bleiben muss. Man hat übrig diesen Schwierigkeiten auf verschiedene Weise zu begegnen g wusst. (Gehl. 1, S. 553.)

a) Die Stange, deren Ausdehnung gemessen werden soll, hängt in wagerec Lage in einem Troge, der Wasser oder Oel enthält und durch darunter setzte Spirituslampen ermärmt werden kann. Parallel damit befindet s auf demselben Gestelle ein zweiter Trog und darin ein Stab von Ei welcher als unveränderliche Grundlage dienen soll und daher mit sch zendem Eise fortdauernd umgeben bleibt. Von diesem Stabe gehen winkelrecht daran befestigte Arme nach dem andern Troge hin. Zwei da halten die zu prüfende Stange, und der erste dient zugleich als feste derlage für dieselbe. Der dritte trägt eine Mikrometerschraube, welch der Richtung der Stange, einem vom Ende der letzteren aufgericht

Stücke genähert, oder davon entfernt werden kann. Mittelst dieser Schraube, wenn ihre Gänge ganz gleichförmig sind, und man genau weiss, wie viele z. B. auf die Länge eines Zolles gehen, lässt sich die Ausdehnungsgrösse für eine beliebige Anzahl Temperaturgrade messen und als Bruchtheil der bekannten Länge der Stange bei 0° in Rechnung bringen.

b) Zwei Stangen von verschiedenem Stoffe, z. B. Platin und Kupfer, aber von gleicher Länge, werden auf einander gelegt und am einen Ende unverrückbar erhalten. Bei veränderter Temperatur werden beide nicht mehr gleich lang seyn. Der Unterschied zeigt an, um wie viel die eine Stange sich stärker ausdehnt als die andere. Kennt man daher das Ausdehnungsgesetz von nur einer Stange, so ergibt sich das der andern durch einfache Addition oder Subtraction. Um die immer nur kleinen Längenunterschiede bequem und genau messen zu können, ragt an dem verrückbaren Ende jeder Stange ein winkelrecht aufsteigender Arm aus dem Bade, worin beide Stangen gleichförmig erwärmt werden, hervor. Diese Arme tragen in wagerechter Lage zwei kleine neben einander herlaufende Massstäbe, von welchen der eine den Nonius des andern bildet.

Angenommen, beide Stangen sind bei 0° gleich lang und ihre Längenverschiedenheiten bis zu gewissen Temperaturgränzen, z. B. bis 20° unter 0 u. 30° über 0 sind gemessen, so lässt sich rückwärts aus dem Stande beider Theilungen neben einander, auf die Höhe der Temperatur schliessen. Diese Verrichtung bildet also eine Art Thermometer. Borda's Massstab.

c) Das eine Ende der in wagerechter Lage in ein Bad gesenkten Stange lehnt sich gegen eine feste Widerlage, das andere Ende drückt auf den kurzen Arm eines Zeigers, der um eine feste Axe drehbar ist, so dass die entsprechenden Verrückungen des langen Armes hinlänglich vergrössert sind, um (zumal mit Zuziehung des Nonius) eine sehr genaue Messung zu gestatten. Ist der hierzu erforderliche Massstab weit genug entfernt, oder hat man auf andere Weise Sorge getragen, um seine Temperatur unverändert zu erhalten, kennt man ferner das Verhältniss beider Arme des Zeigers, und ist der Abstand seiner Axe von der festen Widerlage unveränderlich, d. h. stützen sich beide Puncte auf eine unveränderliche Grundlage, z. B. auf eine kalt erhaltene Platte oder auf den Erdboden selbst, so sind wiederum alle Erfordernisse zu einer genauen Messung der Ausdehnung erfüllt (Biot 1, S. 146).

Man hat ausser den angeführten noch andere Methoden ersonnen, die Längenausdehnung fester Körper zu bestimmen. Im Allgemeinen kann jede Messung, welche mit der Ausdehnung eines Körpers in einer festen und bekannten Beziehung steht, ein Hülfsmittel werden, die letztere zu finden.

61. Aus der bekannten Längenausdehnung eines festen Körpers lässt sich seine räumliche Ausdehnung finden, indem man die erstere mit 3 multiplicirt.

Bedeutet nämlich n die Ausdehnungsgrösse für die Längeneinheit und etwa für 1° C vom Schmelzpunct des Eises an gerechnet, so ist $l(1+n)$ die Veränderung der Länge l, und $V(1+n)^3 = V(1+3n+3n^2+n^3)$ die Aenderung des räumlichen Inhaltes V für einen Thermometergrad. Da nun n stets ein sehr kleiner Bruch ist, so wird der wahre Inhalt für 1° über 0 hinlänglich genau durch $V(1+3n)$ ausgedrückt. Z. B. die lineare Ausdehnung des Glases beträgt zwischen 0—100°, $\frac{1}{1161}$ der Länge bei 0°; die körperliche Ausdehnung ist $\frac{3}{1161}=\frac{1}{387}$.

Diese Regel gilt nur für solche Stoffe, die sich nach jeder Richtung gleichförmig ausdehnen, wie für gegossene Metalle und Glas. Viele krystallisirte Körper aus den ungleichaxigen Systemen dehnen sich in der Richtung ihrer verschiedenen Axen ungleich aus. Ihre Volumenausdehnung kann folglich nicht durch Rechnung ermittelt werden.

59. Der Bruch, welcher zwischen gewissen Temperaturgränzen (z. B. 0 — 100°) das Verhältniss der Ausdehnung eines Kör-

pers zu seiner anfänglichen Grösse ausdrückt, wird **Ausdehnungscoefficient** genannt. Kennt man den Ausdehnungscoefficienten eines Körpers, so lässt sich die Grösse der Ausdehnung aller Körper von gleichartigem Stoffe durch Rechnung bestimmen.

Z. B. der Ausdehnungscoefficient des Messings, $\frac{1}{54000}$ sagt, dass eine Messingstange von 54,000 Linien Länge, bei 0° gemessen, für jeden Temperaturgrad auf oder ab sich um 1 L. verlängert oder verkürzt, folglich bei t° seyn wird 54000 + t. Eine andere Stange von der Länge 1 bei 0° gemessen, muss sich also in demselben Verhältnisse verlängern wie 54000 : 54000 + t.

Diese Rechnung kommt bei allen genauen Längenmessungen vor, indem der gebrauchte Massstab nur für eine gewisse Temperatur richtig seyn kann. Der Pariser Fuss z. B. hat seine wahre Länge bei 16°,25. Eine Länge 1 bei t° gemessen, erfordert daher eine Berichtigung, die sich aus der Betrachtung ergibt, dass

$$54000 + 16{,}25 : 54000 + t = 1 : \left(x = \frac{(54000 + t)\,1}{54000 + 16{,}25}\right.$$

Der räumliche Inhalt der Hohlmasse, so wie aller Gefässe wechselt auch mit der Temperatur. Der direct gemessene Inhalt wird daher häufig nur einen scheinbaren ausdrücken. Wie gross ist z. B. der wahre Rauminhalt eines Glasgefässes bei t°, wenn derselbe bei T°, V. C. C. betragen hat? Dies wird beantwortet durch die Proportion: 38700 + T: 38700 + t = V : x.

63. Wenn feste Körper bis gegen 150° hin oder darüber erwärmt, oder auch unter — 20° abgekühlt werden, so halten die Aenderungen ihres räumlichen Inhaltes weder unter einander, noch mit der des Quecksilbers im Thermometer gleichen Schritt; sie sind nicht mehr den durch das Quecksilberthermometer gemessenen Temperaturen proportional.

Z. B. die Ausdehnung des Glases beträgt zwischen 0—100°: $\frac{1}{1161}$, zwischen 100—200°: $\frac{1}{1032}$, zwischen 0—300°: $\frac{1}{840}$ der bei 0° gemessenen Länge. Der Ausdehnungscoefficient des Glases nimmt also bei hohen Temperaturen an Grösse zu. Ein ähnliches Verhalten ist bei andern festen Körpern beobachtet worden.

64. Auf der Ausdehnung der Metalle beruhen mehrere thermometrische Vorrichtungen, die sogenannten **Metallthermometer**. Sie bestehen theils aus einem einzigen, theils aus zwei verschiedenartigen, der Länge nach zusammengelötheten, dünnen, spiralförmig gewundenen Metallstreifen, die an einem Ende befestigt sind, am andern mit einem im Kreise beweglichen Zeiger in Verbindung stehen. Man pflegt sie nach den Anzeigen des Quecksilberthermometers zu graduiren. Die nach den Vorschriften von **Breguet** *), **Holzmann**, **Urban Jürgensen** **) verfertigten sind die bekanntesten. Sie haben gewöhnlich das Format von Taschenuhren. Da sie eine ziemlich grosse Empfindlichkeit besitzen, so werden sie zuweilen benutzt, um rasch wechselnde Temperaturen zu erfassen.

65. Wenn Metallthermometer bestimmt sind, vorzugsweise hohe Temperaturen zu messen, so erhalten sie den Namen **Pyrometer**.

*) Schweigg. Journ. XXXII. Nr. 497; auch Gehl. B. 9, S. 990.

**) Urban Jürgensen, allgemeine Grundsätze der genauen Zeitmessung, Leipzig 1840.

Für die Messung von Temperaturen über 400° wird das Quecksilberthermometer unbrauchbar, weil das Glas in stärkerer Hitze zu erweichen beginnt. Man hat daher mancherlei Vorrichtungen ersonnen, um diesen Mangel zu ersetzen. Zu den besseren Pyrometern gehört das Daniell'sche. Es besteht aus einer Stange von Platin oder Eisen, die in einer Hülse von Graphit oder Porzellan eingeschlossen ist, welche man unmittelbar der zu prüfenden hohen Temperatur aussetzt. Das eine Ende des Platins ruht auf dem Boden der Hülse, das andere drückt auf eine Porzellanstange, die gleichsam die Verlängerung der Platinstange bildet. Da sich Platin stärker ausdehnt als Graphit und Porzellan, so schiebt es durch Erhöhung seiner Temperatur die Porzellanstange vorwärts. Unmittelbar aus der veränderten Lage der letzteren, oder mittelbar aus der Bewegung eines Zeigers, auf dessen einen Arm die Porzellanstange drückt, lässt sich dann die eingetretene Veränderung der Temperatur erkennen (Pogg. Ann. 39, S. 577). Pyrometer können wohl geeignet seyn, um gewisse Hitzegrade mit Sicherheit wiederzufinden. Die Anzeigen der bis jetzt bekannten derartigen Werkzeuge gestatten jedoch keine ganz sicheren Vergleichungen mit den Graden des Quecksilberthermometers.

2. Tropfbare Flüssigkeiten.

66. Verschiedene Flüssigkeiten dehnen sich ungleich stark aus, und die Vermehrungen ihres Volums verhalten sich (selbst zwischen 0 — 100°) nicht wie die mit dem Quecksilberthermometer gemessenen Temperaturzunahmen.

Thermometer aus verschiedenen Flüssigkeiten verfertigt, bei welchen allen der Raum zwischen den beiden festen Puncten in 100 gleiche Grade getheilt ist, geben daher keine übereinstimmenden Resultate. Für ganz gleiche Temperaturen erhält man z. B. mittelst eines Thermometers aus

Quecksilber.	Alkohol.	Olivenöl.	Wasser.	Gesättigtem Salzwasser.
100	100	100	100	100
75	70,25	74,1	57,25	71,4
50	44	49	25,6	45,4
25	20,6	24,1	5,1	21,6
0	0	0	0	0

Thermometer, bei welchen als Flüssigkeit Weingeist angewendet wird, Weingeistthermometer, gebraucht man häufig. Es ist nun einleuchtend, dass ein solches Werkzeug, um mit dem Quecksilberthermometer vergleichbare Anzeigen geben zu können, nicht in gleiche Grade eingetheilt werden darf. Das Weingeistthermometer wird hauptsächlich zur Messung sehr niedriger Temperaturen benutzt, weil concentrirter Weingeist nicht friert.

67. Um das Ausdehnungsgesetz einer Flüssigkeit zu erforschen, gibt es im Allgemeinen zwei Wege:

1) Eine gewisse Menge derselben, deren räumlicher Inhalt bei irgend einer Temperatur, etwa bei 0°, bekannt ist, wird nach und nach verschiedenen Temperaturen ausgesetzt und die jedesmalige Raumvergrösserung gemessen. Das Verhältniss der Ausdehnung zum anfänglichen Volume ergibt sich auf diese Weise unmittelbar.

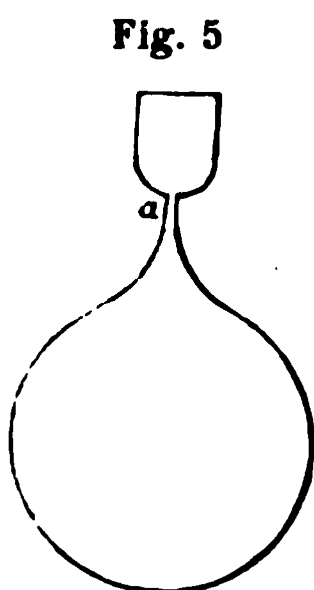
Beispiel: Man hat ausgemittelt, dass der Inhalt des Behälters eines Queck-

silberthermometers bis zum 0Puncte hin 65mal so gross ist, als dei cylindrischen Rohres vom Schmelzpuncte bis zum Siedpuncte. 65 Quecksilber, bei 0° gemessen, nehmen folglich bei 100° den Raum oder die Ausdehnung des Quecksilbers zwischen beiden Gränzen des anfänglichen Umfangs.

2) Die Dichtigkeit der Körper wird in demselben Ve geringer, als ihr Rauminhalt sich vergrössert. Da Verhältniss der Dichtigkeit einer Flüssigkeit bei ve nen Temperaturen ist folglich das umgekehrte ih: dieselben Temperaturen veränderten Volume, d. h. n die Ausdehnung eines flüssigen Körpers zwische zwei Temperaturen, indem man sein specifisches Ge der niedrigsten durch dasjenige bei der höchsten di

Beispiel: Ein Glasgefäss, wie Fig. 5 gestaltet und von bekannte wird bis zum Puncte a, wo der äussere Trichter si sehr engen Oeffnung zusammenzieht, mit kaltem V 0° gefüllt. Die Menge betrage 124 Grm. Dieses Ge hierauf in einem geeigneten Bade einer höheren T z. B. der von 100° so lange ausgesetzt, als von d keit durch die Oeffnung bei a austritt. Der Trichte innen anhängenden Flüssigkeit befreit, das Gefäss trocknet und wieder gewogen, findet man nur 118 118 Raumtheile haben sich in 124, oder jeder Raumt verwandelt. Die Ausdehnung des Wassers zwisch beträgt $^6/_{118}$ des Umfanges bei 0°.

Fig. 5



Wenn das Ausdehnungsgesetz einer Flüssigkeit kannt ist, so lässt sich aus den Gewichten eines g lums derselben bei zwei verschiedenen Temperatur terschied der letzteren berechnen. Gewichtsthermometer.

68. Die beobachtete Volumsvergrösserung der Flüssig Gefässen entspricht nicht ihrer wahren Ausdehnung; diese mehr immer etwas grösser; um so viel nämlich, als die rung des Gefässes selbst beträgt.

Z. B. der Ausdehnungscoefficient des Glases $^1/_{387} = 0{,}00255$ d dass die Einheit des Rauminhaltes eines Glasgefässes, durch Erhöhun peratur von 0 zu 100° sich verändert in 1,00255. 65 Raumtheile Queck in einem Glasgefässe von 0—100° erwärmt, werden folglich nicht 66 (1,00255), d. h. 66 + 66 (0,00255); die entsprechende Ausdehnung silbers ist mithin

$$^1/_{65} + \frac{66\ (0{,}00255)}{65} = 0{,}0154 + 0{,}0026 = 0{,}018.$$

0,0154 nennt man den scheinbaren, 0,018 den absoluten Ausdehnungsco des Quecksilbers.

Es sey im Allgemeinen α die scheinbare Ausdehnung d einheit eines flüssigen Körpers, so wird dessen wahre Aus bestimmt, indem man den scheinbaren Raum $1 + \alpha$ mit d dehnungscoeficienten der Gefässmaterie (bei'm Glase mit multiplicirt und dieses Product zu α addirt.

69. Das Wasser unterscheidet sich von andern Flüs durch die merkwürdige Eigenschaft, dass es sich bei'm

nur bis zu der Temperatur von 4° zusammenzieht, dann aber wieder ausdehnt; folglich bei 4° eine grösste, bei den Temperaturen von 0 und 8° aber ungefähr gleiche Dichtigkeit besitzt. Diese Eigenthümlichkeit des Wassers ist in dem Haushalte der Natur von sehr grosser Bedeutung.

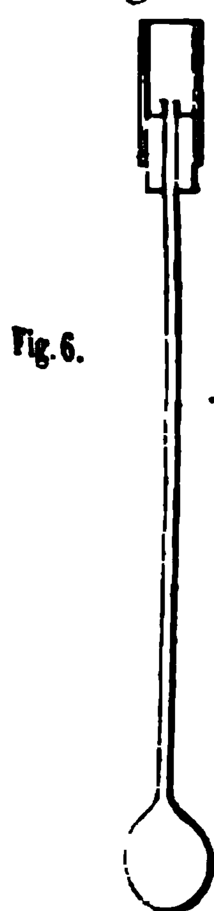
Wenn das Wasser irgend ein Salz aufgelöst enthält, so liegt die Temperatur seiner grössten Dichtigkeit stets niedriger als 4°, z. B. im Meerwasser, das bei 0° nicht friert, liegt sie schon mehrere Grade unter 0. Auch reines Wasser lässt sich bei Temperaturen unter 0 ja selbst bis zu — 10° im flüssigen Zustande erhalten, indem es mit der sinkenden Temperatur stets sein Volum vergrössert.

1 Kub. Cent. Wasser im Zustande seiner grössten Dichtigkeit bildet unter dem Namen Gramme die Einheit des französischen Gewichtssystemes. (Ueber die Ausdehnung tropfbarer Flüssigkeiten siehe Tafel IV.)

Wasser und Quecksilber, deren Ausdehnungsgesetze bei den gewöhnlich vorkommenden Temperaturen sehr genau bekannt sind, werden häufig angewendet, um den Inhalt der Glasgefässe zu messen. Man wiegt zu dem Ende das Gefäss zuerst leer, füllt es hierauf mit der Flüssigkeit bei einer bekannten Temperatur an, und wiegt wieder. Aus der Gewichtszunahme lässt sich dann der Inhalt berechnen. Beispiel: Das Glasgehäuse eines Thermometers wog 10,8 Grm.; mit Quecksilber bei 15° gefüllt, 37,427; Quecksilberinhalt 37,427—10,8 = 26,627 Grm. *). Ein Kubikcentimeter Quecksilber von 0° wiegt 13,598 Grm.; die wahre Ausdehnung des Quecksilbers beträgt für jeden Thermometergrad 0,00018 des Volums bei 0°; 13,598 Grm. werden daher bei 15° den Raum von 1 + 0,00018. 15 = 1,0027 C. C. einnehmen. Obige 26,627 Grm. entsprechen demnach einem Rauminhalte von 1,9634 C. C. bei der Temperatur von 15°.

Bei geräumigeren Gefässen kann man als Messflüssigkeit chemisch reines Wasser benutzen, verfährt übrigens dabei auf ähnliche Weise wie vorher. Da sich das Wasser sehr unregelmässig ausdehnt, so genügt es jedoch nicht, das Gewicht von 1 C. C. desselben bei 0° zu kennen, sondern es bedarf einer Tabelle, worauf das specifische Gewicht dieser Flüssigkeit für jeden Temperaturgrad bemerkt ist. (Siehe Tafel III, 2.)

Ist die Einmündung eines Gefässes zu enge, um die Flüssigkeit unmittelbar eingiessen zu können, wie bei den Thermometerröhren, so verbindet man mit dieser engen Oeffnung auf passende Weise einen weiteren offenen Behälter. Man setzt z. B. (Fig. 6) mittelst eines Korkstöpsels ein weiteres Glasrohr an. Bringt man in dieses das Wasser oder Quecksilber, und erwärmt den unteren Behälter, so dehnt sich die enthaltene Luft aus und entweicht zum Theil. Sie wird beim Erkalten durch eine entsprechende Menge Flüssigkeit ersetzt. Von Neuem bis zum Sieden erhitzt, bilden sich Dämpfe, die bald alle Luft vertreiben, so dass bei abermaligem Abkühlen der ganze innere Raum sich mit der Flüssigkeit anfüllt.


Fig. 6.

Der Rauminhalt eines Glasgefässes wird aus dem Gewichte der darin enthaltenen Flüssigkeit nur für eine bestimmte Temperatur gefunden. Wiederholt man den Versuch bei einer andern Temperatur, und darf man die absolute Ausdehnung des Quecksilbers zwischen beiden Temperaturen als ganz genau bekannt voraussetzen, so lässt sich daraus die räumliche Erweiterung des Glasgefässes zwischen denselben Temperaturgränzen be-

*) Da das von Quecksilber leere Gehäuse Luft enthält, so muss deren Gewicht eigentlich in Abzug gebracht werden. Auf welche Art dies geschieht, kann jedoch erst später gezeigt werden.

rechnen. Man hat auf diese Weise gefunden, dass der Ausdehnungscoefficient für verschiedene Glasarten und sogar für dieselbe Glasart bei verschiedener Form der Gefässe und Dicke der Wände nicht ganz gleich ist. (Regnault in Pogg. Ann. 55, S. 584.)

5. Ausdehnsame Flüssigkeiten.

70. Die Ausdehnung der Luft und der Gase im Allgemeinen kann auf ähnliche Weise, wie die der tropfbaren Flüssigkeiten, gemessen werden. Man hat gefunden, dass zwischen dem Schmelzpuncte des Eises und dem Siedpuncte des Wassers die Volumsvermehrung der Gase mit der des Quecksilbers im Thermometer gleichmässig fortschreitet, oder für je gleiche Temperaturunterschiede einen gleichen Bruchtheil des Volums bei 0° ausmacht; dass die Ausdehnung ein und desselben Gases und zwischen denselben Temperaturgränzen (z. B. zwischen 0 bis 100°) von seiner anfänglichen Dichtigkeit unbhängig ist; dass alle gasförmigen Körper zwischen gleichen Temperaturgränzen sich gleich stark ausdehnen. Der Ausdehnungscoefficient der Gase beträgt nach den neuesten Bestimmungen für jeden Grad des hunderttheiligen Thermometers 0,003665 = $^1/_{273}$ = $^{11}/_{3000}$ des Umfanges bei 0° (Magnus, Regnault).

Das Gesetz der gleichförmigen Ausdehnung aller Gase, sowie desselben Gases bei ungleicher Dichte, scheint nach den Ergebnissen der neuesten Versuche nur annähernd wahr zu seyn. Denn man hat gefunden, dass der Ausdehnungscoefficient mehrerer Gase, als man sie im Zustande einer grösseren anfänglichen Dichte prüfte, um einen, wenn auch äusserst geringen, Betrag zugenommen hatte; ferner, dass Sauerstoff sich etwas stärker ausdehnt, als der weit feinere Wasserstoff, dass aber insbesondere kohlensaures und schwefligsaures Gas (welche durch starken äusseren Druck flüssig gemacht werden können) einen ziemlich bemerkbar grösseren, mit der Dichtigkeit zunehmenden Ausdehnungscoefficient besitzen.

Alle diese Beobachtungen sind jedoch mit Gasen gemacht worden, die in Glasgefässen eingeschlossen waren. Das Glas äussert gegen die meisten dieser Stoffe eine beträchtliche, bei zunehmender Temperatur abnehmende Adhäsion, d. h. kleine Antheile derselben verdichten sich auf der Oberfläche des Glases, wenn die Temperatur niedrig ist, und verflüchtigen sich wieder bei'm Erwärmen. Fänden jene beobachteten Unregelmässigkeiten ihren Grund nicht in diesem zufälligen Umstande, so sollte man eher erwarten, dass die feineren Gasarten, nicht aber dass gerade die dichtesten sich am stärksten ausdehnen.

Zwischen den Theilen der ausdehnsamen Flüssigkeiten scheint jede Spur einer gegenseitigen Anziehung verschwunden zu seyn. Ihr Bestreben, sich von einander zu entfernen, muss daher in demselben Verhältnisse zunehmen, als die Ursache dieses Bestrebens, nämlich die Dichtigkeit der aufgenommenen Wärme, mit einem Worte, als die Temperatur (44) sich vermehrt. Der Grund der grossen Uebereinstimmung im vorher erwähnten Verhalten aller gasförmigen Körper und bei jeder Dichte derselben, bei welcher der elastisch flüssige Zustand (40) sich erhält, fliesst hieraus als eine nothwendige Folge.

Die Stärke, womit sich feste nnd flüssige Körper ausdehnen, ist das Resultat einer zusammengesetzten Einwirkung, nämlich der durch Wärmeaufnahme vermehrten Expansionskraft und des Widerstandes der Cohäsion. Der Zusammenhang der Theile wird durch vermehrten Wärmezufluss, ähnlich wie durch angehängte Gewichte (35), allmählig aufgehoben; diess kann jedoch auf keine

enden Dichtigkeit der Wärme genau proportionale Weise gesche-
ch die gegenseitige Anziehung der Körperatome auch durch Ver-
des Abstandes vermindert. Es ist demnach vorauszusehen, dass der
scoefficient fester und flüssiger Körper mit der Temperatur wachsen

die Volumserweiterungen gasförmiger Körper durch die
o weit sie sich unabhängig von zufälligen fremdartigen
beobachten lassen, der wirklichen Zunahme der Wärme-
it genau proportional seyn müssen, so betrachtet man
s sicherste Mittel, die wahre Höhe der Temperatur zu
n. Vorrichtungen zu diesem Zwecke geeignet, werden
mometer genannt.

die Luft als thermometrische Flüssigkeit auf mancherlei Weise an-
gesucht. Um von dieser Anwendung eine deutliche Vorstellung zu
ügt die Beschreibung des folgenden Verfahrens. Ein cylindrisches
on 2 bis 3 Kubikzoll Inhalt, etwa 1 Zoll weit, 4 Zoll lang, ist am
zugeschmolzen, am andern ist ein Haarrohr angelöthet, das zu ei-
pitze ausgezogen ist (Fig. 7.).

Fig. 7. 

o gebildete Behälter, mit ganz trockner Luft angefüllt, wird der
r, die gemessen werden soll, ausgesetzt, und wenn man sicher
durch die feine Oeffnung keine Luft mehr entweicht, diese mittelst
ne einer Spirituslampe zugeschmolzen. Sobald der Apparat die ge-
Temperatur wieder angenommen hat, taucht man zuerst nur das
in Quecksilber und bricht die Spitze ab, worauf das flüssige Me-
innern Raum eindringt. Man senkt dann auch das weitere Rohr,
se als die Flüssigkeit darin steigt, tiefer ein, bis endlich der äus-
nnere Metallspiegel bleibend in derselben Ebne liegen. Die einge-
Luft hat nunmehr mit der Temperatur auch die Dichtigkeit der äus-
angenommen. Man drückt jetzt die offene Spitze des Behälters mit-
geeigneten Vorkehrung in Wachs ein, damit während des Heraus-
ein Quecksilber ausfliessen kann. Man bestimmt das Gewicht des
enen Metalls, füllt endlich den ganzen inneren Raum mit Quecksilber
egt wieder. Die gesuchte Temperatur lässt sich aus beiden Wägun-
nen. Das Luftthermometer war z. B. dem Dampfe des siedenden
ausgesetzt worden. Später bei 13° Temperatur unter Quecksilber
aren 317 Grm. eingedrungen. Der ganze Rauminhalt entsprach 610 Grm.
r bei 13°. Also 610 — 317 = 283 Volumtheile Luft von 13° waren ge-
0 Volumtheile bei einer unbekannten Temperatur. Nun weiss man,
olumtheile bei 0°, für jeden Grad Temperaturerhöhung ihren Umfang
ehren, daher bei 13° sich in 273 + 13, bei x° sich in 273 + x verwan-
st folglich: 283 : 610 = 273 + 13 : 273 + x, woraus gefunden wird

ine Berichtigung erfordert die Ausdehnung des Glases, denn der innere
der erhöhten Temperatur ist nicht 610, sondern 610 (1 + 0,000026. x).
Lussac's Luftthermometer zu vgl. Annales de Chy. et de Phy. 51. 435.
. Ann. 27. S. 681. Dulong's Luftthermometer. Ann. de Chy. et de
20. Mitscherlich's Luftthermometer, Pogg. Ann. 29. 203.
Luftthermometer zur Bestimmung sehr hoher Temperaturen brauch-
hen, kann man den Glasbehälter mit einem ähnlichen von Platin ver-
Pouillet's Luft-Pyrometer. (Pogg. Ann. 39. 567.)

enn man die Ausdehnung der Körper mit den Graden des

Luftthermometers oder mit der sogenannten wahren Temperatu zunahme vergleicht, so bemerkt man bei allen ohne Ausnahme ei allmähliges, mit der steigenden Temperatur immer rascheres Wach sen des Ausdehnungscoefficienten, ganz so wie es sich aus theo retischen Gründen voraussehen lässt.

Setzt man z. B. die Menge des Quecksilbers im Thermometer bei 0° gleich 64 Raumtheilen, so beträgt die scheinbare Ausdehnung desselben für jeden Gra des Quecksilberthermometers 1 Raumtheil, weil man sämmtlichen Temperatur graden gleichen räumlichen Inhalt gegeben hat. Vergleicht man aber dami die Zuwachse, welche 273 Raumtheile Luft, bei 0° gemessen, erhalten, wenn ma sie gleichzeitig mit dem Quecksilberthermometer, nach und nach wechselnd Temperaturen aussetzt, so findet man als Ausdrücke für die wahre Temperat (Dulong und Petit, neuerdings von Magnus bestätigt) die folgenden Zahlenwerth

Quecksilberthermometer.	Luftthermometer.
— 36	— 36
0	0
100	100
130	129,92
150	148,70
200	197,05
250	245,05
300	292,70
360	350,00

Man sieht hieraus, dass das Quecksilberthermometer nur zwischen — 36° und 130° dem eigentlichen Begriffe der Temperatur entsprechende Anzeigen lie fert. Die Tabelle verschafft aber die Möglichkeit, alle mit dem Quecksilberther mometer beobachteten scheinbaren Temperaturen auf ihren wahren Werth, näm lich auf Grade des Luftthermometers, zurückzuführen. Zu diesem Zwecke hat August nachstehende Formel berechnet:

$$t = t' - \frac{1}{4} a \, (0{,}09 + 0{,}00028 \, a)$$

worin t die wahren, t' die beobachteten Temperaturgrade bedeutet und $a = t' - 10$

Die Ausdehnungen anderer Flüssigkeiten entsprechen noch weit weniger, als die des Quecksilbers, den wahren Temperaturzunahmen (63).

Wollte man die Temperaturen den Längenzunahmen irgend eines fest Körpers proportional setzen, so würden die Abweichungen von der wahre Temperatur gewöhnlich ebenfalls weit grösser werden, als diess bei dem Queck silber der Fall ist; z. B. 300° des Luftthermometers bezeichnen nach Dulon dieselbe Temperatur, wie 353° des Glasthermometers, wie 373° eines Eisenther mometers, wie 329° eines Kupferthermometers oder wie 312° eines Platinther mometers. Hätte man nämlich als thermometrische Substanz z. B. eine Glasstang gewählt, deren mittlerer Ausdehnungscoefficient zwischen 0 — 100° für jede Grad $^1/_{116100}$ beträgt, so würde man finden, dass ihre Verlängerung für 30 wahre Temperaturgrade nicht $^{300}/_{116100}$, sondern $^{353}/_{116100}$ ausmacht. Man wei diess daher, weil der mittlere Ausdehnungscoefficient des Glases zwischen 0—300 für jeden Grad $^1/_{98700}$ beträgt und weil $^{300}/_{98700} = {}^{353}/_{116100}$.

Von der Wärmecapacität der Körper.

73. Nach der Vorstellung, dass die Wärme eine Materie sei muss jeder Körper, indem er seine Temperatur bis zu einem g wissen Grade erhöht, eine gewisse Menge dieser Materie in se nem Umfange aufnehmen.

Die Wärmemenge, welche die Gewichtseinheit des Wasse aufnehmen muss, um von der Temperatur 0° auf die von 1° g

werden und überhaupt jede andere gleich grosse Wärme-
ird **Wärmeeinheit** genannt.

e Temperatur des Wassers ändert sich sehr nahe propor-
der Anzahl Wärmeeinheiten, welche jede Gewichtsein-
:h aufgenommen oder abgegeben hat.

:nn man in einem geräumigen Gefässe, am besten von Holz, welches sehr wenig ableitet, 100 Pfund Wasser, etwa von 0°, mit 100 Pfund va von 90° vermischt, werden stets 200 Pfund von mittlerer Tempe- serem Falle von 45° erhalten.

in hiernach sehr leicht im Voraus berechnen, welche Temperatur ischen von gegebenen Mengen kalten und warmen Wassers erhalten is. Beispiele: 30 Pfund Wasser von 80° oder 2400 Wärmeeinheiten nd Wasser von 11° oder 2200 W. E. zusammengebracht, geben die ratur von 20°, weil in diesem Falle 30 + 200 = 230 Pfund sich in 0 = 4600 W. E. theilen müssen. Es ist aber $\frac{4600}{230} = 20$.

n durch Vermischen von Wasser von 8° (t°) mit Wasser von 100° Kubikfuss (V) Badewasser von 34° (t'°) gebildet werden. — Jede heit des kalten gewinnt 26 W.E., jede des heissen verliert 66 W.E. ein Theil heisses kommen $^{66}/_{26}$ kaltes, oder auf je 92 Badewasser heisses und 66 kaltes. Es ist daher 92 : 26 = 1000 : (x = 282,6 K.F. ı 100°.

in betrachtet kann man setzen: $Vt' = x\,T + (V-x)\,t$, woraus

'leiche Gewichtsmengen desselben Stoffes, die ungleich sind und die man untereinander mengt, nehmen, wenn peraturverschiedenheit nicht sehr gross war, eine Tem- ı, welche, ganz so wie man es bei dem Wasser findet, ıetische Mittlere der Anfangstemperaturen ist. Vermengt ungleichartige Stoffe, so zeigen sich ganz andere und ı Körper zum andern sehr abweichende Verhältnisse.

:: Ein Pfund geläutertes Brennöl von 16°, mit 1 Pfund Wasser von 80° bt nicht eine Mitteltemperatur von $\frac{16+80}{2} = 48°$, sondern von 58°,7

d Quecksilber von 16° mit 1 Pfund Wasser von 81° gemischt, neh- vie man erwarten möchte, die Temperatur von 22°, sondern die von

an 468 Grm. Wasser von 10°,7 mit 77,4 Grm. weissem Glas von 98°,7 ngt, bis eine ganz gleichförmige Temperatur eingetreten ist, so beträgt , während die arithmetische Mittelzahl $\frac{468.\,10{,}7 + 77{,}4.\,98{,}7}{468 + 77{,}4} = 23{,}2$

e.

:dene Körper bedürfen also bei gleichem Gewichte ungleicher Wär- um zu derselben Temperatur erhoben zu werden.

ejenige Wärmemenge, durch deren Aufnahme die Ge- heit eines Körpers um einen Temperaturgrad erwärmt Wärmeeinheiten oder Theilen der Wärmeeinheit ausge- ennt man seine **Wärmecapacität**, wohl auch seine ämliche **Wärme**.

Die Wärmecapacität verschiedener Körper ist sehr ungleich.

Beispiele: Um ein Pfund Oel von 16° auf 58°,7 zu bringen, oder um sei Temperatur um 42°,7 zu erhöhen, sind (72) 80 — 58,7 = 21,3 W. E. nöthig gew sen. Die Wärmecapacität des Oels entspricht also $^{21,3}/_{42,7}$, oder einer halb W. E., da doch die des Wassers einer ganzen W. E. entspricht.

15 W. E. (nämlich 81° — 66° = 15°, die 1 Pfund Wasser verlor) vermög die Temperatur von 10 Pfund Quecksilber um 50°, oder die von 1 Pfund u 500° zu vermehren. Daher die Wärmecapacität des Quecksilbers = $^{15}/_{500}$ = 0, Wärmeeinheit.

Durch die Wärme, welche 77,4 Grm. Glas einbüssen, indem sie ihre Tem ratur um 98,7 — 13,5 = 85°,2 erniedrigen, können 468 Grm. Wasser von 10°, auf 13°,5 gebracht, d. h. um 2°,8 erwärmt werden, was 468. 2,8 = 1310,4 W. gleichkommt. Daher 77,4. 85,2 x = 1310,4; woraus man findet die Wärmeca pacität des Glases x = 0,198.

Das angedeutete Verfahren, die eigenthümliche Wärme eines Körpers messen, indem man eine bekannte Gewichtsmenge desselben zu einer bekannt Temperatur erwärmt, dann mit einer abgewogenen Menge Wasser, ebenfal von bekannter Temperatur, vermengt und die eintretende mittlere Temperat misst, wird die **Methode der Mengungen** genannt.

Eine allgemeine Uebersicht der hierbei nöthigen Berechnungen gewährt Formel M (T — t) x = M′ (t — T′), worin M und M′ die Gewichtsmassen beid Körper, T und T′ die zugehörigen Temperaturen, t die Temperatur nach Mengung vorstellen.

Ausführlicheres über die Methode der Mengungen findet man in Pogg. A B. 51. S. 57, dann B. 53. S. 64 (Regnault). Ebendaselbst Bd. 23. S. 1 und S. (Neumann).

77. Die Zahlen, welche das relative Verhältniss der Wärm mengen ausdrücken, die von gleichen Gewichten verschieden Körper aufgenommen werden müssen, wenn ihre Temperatur j um einen Grad, oder im Allgemeinen je um eine gleiche Anzal Grade erhöht werden soll, nennt man die specifischen Wärme dieser Körper.

So ist die spec. Wärme des Wassers zwischen 0 — 20° = 1; die des O = 0,5; die des Quecksilbers = 0,03; die des Glases = 0,198. (Tafel V.)

Wenn die spec. Wärme eines Körpers bekannt ist, so findet man die Anz Wärmeeinheiten, wodurch ein gegebenes Gewicht desselben um einen Grad e wärmt wird, indem man dieses Gewicht mit der spec. Wärme multiplicirt. D so erhaltene Product bezeichnet den **Wasserwerth** des Körpers, d. h. ei Gewichtsmenge Wasser, welche bei der Mengung denselben Wirkungswerth h wie die vorhandene Menge des Körpers; z. B. die spec. Wärme des Eisens 0,11; 1000 Pfund Eisen bedürfen daher für jeden Grad Temperaturerhöhu 0,11 × 1000 = 110 W. E.; 110 ist der Wasserwerth von 1000 Pfund Eisen.

Man findet die Mitteltemperatur eines Gemenges verschiedenartiger Körp indem man die ganze Summe der vorhandenen Wärmeeinheiten dividirt du die Summe der Wasserwerthe sämmtlicher Körper; z. B. 100 Pfund Eisen v 400° mit 500 Pfund Wasser von 8° vermengt, gibt eine mittlere Temperatur v

$$\frac{100 \,.\, 0{,}11 \,.\, 400 + 500 \,.\, 8}{100 \,.\, 0{,}11 + 500} = \frac{4400 + 4000}{11 + 500} = 16^\circ{,}4.$$

Das Wasser, dessen Temperatur durch Mengung mit einem oder mehre Körpern verändert werden soll, muss sich immer in einem Gefässe befind Ist nun die Masse des letzteren ein guter Wärmeleiter, so dass sie die Tem ratur des Wassers leicht annimmt, z. B. dünnes Metallblech, so berechnet m dessen Einfluss dadurch, dass man den Wasserwerth desselben zu der enth tenen Wassermasse addirt und diese Summe als wirklich vorhandene Wass menge betrachtet.

nungen, zu welchen die Mengung irgend eines erwärmten Körpers führen kann, sind ganz allgemein ausgedrückt in der Gleichung:

$$w. M. T + M.'T' = (M.w + M') t$$

r M und M' die Gewichtsmassen, T und T' die zugehörigen Tempe- ie Endetemperatur, w die spec. Wärme des Körpers M vorstellen. ts der Wasserwerth des Gefässes, des eingesenkten Thermometers erechnet.

er Gleichung lässt sich, je nach der Beschaffenheit der Daten, die des Körpers M, oder auch die Endetemperatur, oder endlich, wenn e bekannt ist, die Anfangstemperatur des Körpers M berechnen.

ode der Mengungen gewährt auf diese Weise ein Hülfsmittel, hohe e zu messen, indem man einen Körper, der die hohe Temperatur einen Ring oder eine Kugel von Platin in das Wasser senkt, und rin herumführt, bis die Temperatur beständig geworden ist. Dieses he Verfahren setzt freilich eine genaue Kenntniss der Wärmecapa- tins, bis zu dem gesuchten Hitzegrade hin, voraus. (Pogg. Ann. 39. vergl. Tafel V. Platin.)

Wärmecapacität der Körper, ähnlich wie ihre Ausdehnbar- st mit der Temperatur. Nach Dulong und Petit ist z. B. Wärmecapacität des Eisens zwischen 0—100° = 0,1098; 0—200° = 0,1150; zwischen 0—300° = 0,1218; zwi- 350° = 0,1255; die des Glases zwischen 0—100° = wischen 0—300° = 0,190.

Zunahme ist zwischen gleichen Gränzen für manche deutender, als für andere; dergestalt dass ihre specifi- rmen, d. h. die Verhältnisse ihrer Capacitäten, verschie- je nachdem man dieselben für kleinere oder grössere, bei allen Körpern gleiche Temperatur-Abschnitte ableitet.

h die Wärmecapacität gasförmiger Körper vermehrt sich eigenden Temperatur; aber es geschieht bei allen nach Gesetze, so dass die specifischen Wärmen der Gase, ft als Einheit bezogen, immer dieselben Werthe behal- elche Temperatur-Unterschiede man sie auch untersucht r.

thümliche Wärme der Gase lässt sich ähnlich, wie die der festen n Körper, nach der Mengungsmethode bestimmen. Der dazu erfor- sserbehälter besteht aus einem Cylinder von dünnem Messingblech meter Höhe und 8 Centimeter Durchmesser; in demselben befindet langenförmig gewundenes Rohr, durch welches ein gleichförmiger ases geleitet wird, nachdem es zuvor zu einer bestimmten Tempe- n worden war. Die aufgenommene Wärme wird auf diesem Wege setzt und kann, wenn die Menge des durchgeleiteten Gases be- rer Quantität nach, gemessen werden aus der Temperatur-Erhö- assers und aus der Summe der Gewichte des Wassers und des hes der festen Theile des Apparates. Damit die Temperatur im gleichförmig werden könne, befindet sich in der Mitte des Blech- e Axe eines Quirls, der während des Versuchs umgedreht wird. Um st nach Aussen möglichst zu vermeiden, trägt man Sorge, das dem Anfange des Versuchs eben so viele Grade unter die äussere abzukühlen, als es sich bei Beendigung des Versuchs über dieselbe lot traité de physique, 4. 717; auch Gehler's Wörterb. Wärme, S. 685.)

Der beschriebene Apparat wird nach seinem Erfinder, dem Grafen Rumford, Rumford's Calorimeter, auch Wassercalorimeter genannt.

Eine Uebersicht der spec. Wärmen derjenigen Gase, für welche sie bekannt sind, findet man Tafel V.

Von der gebundenen Wärme.

80. Wenn ein fester Körper, nachdem er sich bis zu seinem Schmelzpuncte erwärmt hat, der Einwirkung einer höheren Temperatur fortwährend ausgesetzt bleibt, so beginnt er sich zu verflüssigen. Dieser Uebergang geht aber niemals plötzlich, sondern nur nach und nach vor sich. Während dieser ganzen Zeit bleibt bekanntlich die Temperatur des Körpers beständig, wie gross auch die Wärmemenge seyn mag, welche jeden Augenblick aus der Umgebung zugeführt wird (50).

Z. B. Schnee und Eis während des Schmelzens behaupten die Temperatur von 0°, so lange noch ungeschmolzene Theile vorhanden sind. Giesst man heisses Wasser auf das Eis, so erkaltet das erstere rasch bis auf 0°, und man findet, dass dafür ein Theil des letzteren flüssig wird. Der mit Sorgfalt angestellte Versuch hat gelehrt, dass 1 Pfund Eis von 0° mit 1 Pfund Wasser von 75° gemengt, 2 Pfund Wasser von 0° liefert. 75 Wärme-Einheiten verschwinden also völlig für die Wirkung auf das Thermometer, indem sich das Eis in Wasser verwandelt.

Man hat diese Eigenschaft des Eises benutzt, um die spec. Wärme der Körper zu bestimmen. Es ist einleuchtend, dass, wenn man verschiedene Körper auf gleiche Temperatur, z. B. auf 100° erwärmt, und dann einen nach dem andern mit Eis oder Schnee umgibt, alle bis zu 0° erkalten müssen. Jeder wird aber dabei nach Verhältniss seines Wärmeinhaltes eine andere Gewichtsmenge Eis in Wasser verwandeln. Das Verhältniss der gebildeten Wassermengen gibt also dasjenige der Wärmecapacitäten dieser Körper für den gewählten Temperaturabschnitt. Lavoisier und La Place haben zu diesen Versuchen einen besonderen Apparat eingerichtet und demselben den Namem Eiscalorimeter gegeben. (Biot traite de phys. 4. 686.)

81. Die Wärme, welche die Körper während ihres Ueberganges in den flüssigen Zustand aufnehmen und die von dem Thermometer nicht angezeigt wird, heisst gebundene oder latente Wärme; Schmelzwärme, Verflüssigungswärme. Sie ist wesentlich, um die Körper im flüssigen Zustande zu erhalten, und kann eben aus dem Grunde, weil sie mit den kleinsten Theilen der Flüssigkeit verbunden ist und deren gegenseitiger Anziehung, in so weit diese die Ursache des Zusammenhangs war, das Gleichgewicht hält, nicht mehr auf das Thermometer einwirken, oder als ungebundene, freie Wärme, d. h. als Wärme, deren Expansivvermögen durch einen Gegendruck noch nicht aufgehoben ist, thätig seyn.

82. Die Wärme, welche ein Körper im flüssigen Zustande gebunden hält, wird frei beim Rücktritt zu der festen Aggregatform.

Schwefel z. B. schmilzt bei 110°; seine spec. Wärme ist 0,2026; 1000 Gewichtstheile festen Schwefels von 110° müssen demnach 22286 W. E. enthalten. Die Temperaturerhöhung, welche kaltem Wasser durch geschmolzenen Schwefel, der darin erstarrt, ertheilt wird, ist aber beträchtlich grösser, als es obige

ime entspricht. Dieser Ueberschuss rührt von der frei gewordenen Schmelz-
e her.

asser von 0°, einer niedrigeren Temperatur, z. B. von — 20° ausgesetzt, sich, wenn man es in Bewegung hält, gleichwohl nicht weiter ab; aber ein nach dem andern wird fest. Der Wärmeverlust wird also beständig erdurch die Wärme, welche während der Eisbildung frei wird. In der That sich die Temperatur von 0° nur so lange, bis alles Wasser gefroren ist, und dann bald auf diejenige der Umgebung herab. Grund, warum die Tempedes fliessenden Wassers selbst bei der strengsten Winterkälte nicht unsinkt.

nige Flüssigkeiten, unter andern ruhig stehendes Wasser, erniedrigen zun ihre Temperatur mehrere Grade unter den Schmelzpunct, ohne zu er-n. Im Augenblicke des Festwerdens erwärmen sie sich dann bis zu ihrem elzpuncte.

hitzen des Kalks beim Löschen.

3. Die Bindung von Wärme während des Uebergangs in den gen Zustand ist die Ursache, warum es unmöglich ist, feste er über ihren Schmelzpunct zu erwärmen.

as Freiwerden dieser gebundenen Wärme erklärt, warum Flüssigkeiten, während sie fest werden, nicht unter ihren ielzpunct abkühlen lassen.

. Jeder Körper, indem er flüssig wird, sey es durch Schmelzen auf chemischem Wege, durch Auflösen, bedarf dazu einer, er besondern Natur entsprechenden Menge Verflüssigungsme. Kann er diese nicht aus einer entfernteren Wärmequelle pfen, muss er sie aus der unmittelbaren Umgebung, aus seiner en freien Wärme nehmen, so ist die Folge eine Erniedrigung Temperatur.

bkühlung durch Auflösung vieler Salze in Wasser; Kältemischungen (Ta-). Gay Lussac's Verfahren, den Gehalt eines Gemenges von Chlorkalium hlornatrium an ersterem Salze durch Auflösen dieses Gemenges in Was- erfahren, gründet sich auf die Wahrnehmung, dass 50 Grm. Chlorkalium ramme Wasser um 11°,4; 50 Grm. Chlornatrium dieselbe Menge Wasser 1°,9 abkühlen. (Schubarth's technische Chemie. B. 1. S. 353.)

5. Die Flüssigkeiten, indem sie sich in Dämpfe verwandeln, n von Neuem eine beträchtliche Menge Wärme, deren sie ben, um den Gaszustand herbeizuführen oder um die gegenseiAnziehung der kleinsten Körpertheile völlig aufzuheben. e Verflüchtigungswärme wirkt eben so wenig wie die Schmelzne auf das Thermometer. Diese Wärmebindung erklärt, warum Flüssigkeiten während des Siedens eine feste Temperatur upten, welche zugleich auch diejenige des gebildeten Damist.

ie gebundene Wärme des Dampfes wird durch den Rücktritt elben in den flüssigen Zustand wieder zu freier Wärme.

mpf, bei seiner Erzeugungstemperatur mit irgend einem kälteren Körper ührung gebracht, wird tropfbar flüssig, und theilt während dieses Ueber-, vermöge seiner gebundenen Wärme, die nun frei wird, dem andern Körlt mehr Wärme mit, als er selbst im Zustande tropfbarer Flüssigkeit bei der

Erhitzung bis zum Siedpuncte davon aufnehmen konnte; z. B. durch Einleit von Wasserdampf in kaltes Wasser von 0,° erhält man auf je 1 Pfund Damp 6,4 Pfund siedend heisses Wasser.

86. Jeder gasförmige Körper enthält eine gewisse Menge la tenter Wärme, von welcher sein elastisch flüssiger Zustand, sei Expansivvermögen abhängt und durch deren Entziehung er in de tropfbar flüssigen oder selbst in den festen Zustand übergeh müsste.

Die Gase bedürfen aber auch schon für die blosse Erweiter ihres Umfangs einer bestimmten Wärmemenge, die das Ther meter nicht anzeigt. In der Folge wird gezeigt werden, dass je gasförmige Körper bei plötzlicher Vergrösserung seines Volum seine Temperatur erniedrigt, indem er nicht Zeit hat, die für d Ausdehnung nothwendige Wärme aus der Umgebung herbei ziehen, und daher genöthigt ist, einen Theil seiner eignen frei Wärme dazu zu verwenden. Durch Zusammendrückung dageg wird Wärme frei, weil der ganze, für den grösseren Umfang no wendige Antheil jetzt überflüssig und folglich zur Temperat erhöhung verfügbar wird.

87. Auch feste Körper, deren Dichtigkeit man durch äussere dehnende Kräfte vermindert, kühlen sich ab, dagegen erwärme sie sich, während sie durch äusseren Druck verdichtet werden Die durch äussere Kräfte bewirkten Dehnungen sind zwar stet von einer Verschiebung der Theile (35), also von einer Art Rei bung begleitet; allein durch Versuche mit Metalldrähten, die ma durch Gewichte spannte (Weber in Pogg. Ann. B. 20. S. 177.) is es nicht nur gelungen, die Grösse der Temperatur-Erniedrigung durch Zunahme der Spannung, so wie der Temperatur-Erhöhung durch Abnahme der Spannung zu messen, sondern auch den Be weis zu führen, dass ein gespannter Draht, indem er in den frü heren Zustand zurückspringt, also sich verdichtet, sich um eb so viel Grade erwärmt, als er vorher durch die Dehnung sich ab gekühlt hatte. Man zog hieraus den Schluss, dass zu diesen Tem peratur-Veränderungen die Verschiebung der Theile und die Rei bung nichts beigetragen haben konnte, und dass folglich je Verlängerung oder Ausdehnung eines Körpers von ei Bindung von Wärme, jede Verkürzung oder Zusammen ziehung aber von einem Freiwerden von Wärme be gleitet ist.

88. Die Wärme, welche die Körper bei ihrer Temperatur-Erhö hung und bei unverändertem äusserem Drucke aufnehmen, die ge wöhnlich sogenannte specifische Wärme (77), zerfällt demnac in zwei wohl zu unterscheidende Theile:

1) in freie Wärme oder specifische Wärme bei unge ändertem Volum, von welcher ausschliesslich die Temperatu Erhöhung abhängig ist;

2) in **gebundene** oder **Ausdehnungswärme**, welche ausschliesslich dazu verwendet wird, die Körpertheile im Zustande der Ausdehnung zu erhalten, und welche sich aus diesem Grunde nicht als freie Wärme äussern kann.

Denkt man sich z. B. eine erwärmte Metallstange in der Art fest eingeklemmt, dass sie sich bei der Abkühlung auf die anfängliche Temperatur nicht wieder verkürzen kann, so wird sie nicht alle Wärme, die sie aufgenommen hatte, wieder abgeben, sondern nur den zuerst betrachteten Antheil, nämlich ihre spec. Wärme bei unverändertem Volum. Dieser Theil des gesammten Wärme-Inhaltes ist also wesentlich von dem Stoffe, der andere Theil wesentlich von dem Raume des Körpers abhängig.

89. Beide Wärmemengen lassen sich gewöhnlich nicht getrennt von einander beobachten. Weil aber die Ausdehnung fester und flüssiger Körper im Allgemeinen mit der wahren Temperatur nicht gleichförmig fortschreitet, so ist man veranlasst dasselbe hinsichtlich der entsprechenden Zuwachse an Ausdehnungswärme vorauszusetzen. Man findet hierin den Grund, warum die specif. Wärmen der Körper, nämlich die Verhältnisse ihrer Wärmecapacitäten. aus diesen Capacitäten selbst, jedoch zwischen verschiedenen Temperaturgränzen abgeleitet, nicht durch dieselben Zahlenwerthe ausgedrückt sind (78).

Ein anderer Grund liegt, wenigstens bei vielen Körpern, darin, dass sie vor dem Uebergang in den eigentlich flüssigen Zustand alle Stufen der Weichheit durchlaufen und daher, wie z. B. Eisen und Glas, keinen ganz sicher zu bestimmenden Schmelzpunct besitzen. Andere besitzen zwar eine feste Schmelztemperatur, aber sie erweichen, wie z. B. Wachs und Phosphor, lange vor dem Eintritte derselben. Es ist anzunehmen, dass solche Körper einen Theil ihrer Schmelzwärme schon vor der völligen Verflüssigung aufgenommen haben, die ihnen dann bei dem Versuche der spec. Wärme zufügt. Körper, deren Schmelzpunct niedrig liegt und deren Wärmecapacität bis in die Nähe dieses Punctes mit Zuverlässigkeit untersucht werden konnte, sind gerade diejenigen, deren spec. Wärmen die grössten Unregelmässigkeiten darbieten (Regnault).

90. Die Capacität eines Körpers für freie Wärme vermehrt sich bei abnehmender Dichte desselben, dergestalt, dass er nach jeder Veränderung seiner Aggregatform, so lange diese nunmehr bleibend ist, eine andere spec. Wärme bei unverändertem Volume besitzt.

Die Gase zeigen dieses Verhalten am auffallendsten; aber selbst bei festen Körpern ist es in manchen Fällen auf's deutlichste wahrnehmbar; z. B. Eisenoxyd besitzt im Zustande als Eisenglanz eine geringere Wärmecapacität, als der weit weniger dichte Colkothar. Kupfer, kalt gehämmert und dadurch dichter geworden, vermindert seine Wärmecapacität; durch Ausglühen in den früheren Zustand versetzt, erhält es auch wieder seine frühere Empfänglichkeit für Wärme. Die spec. Wärme der Kohle nimmt stufenweise ab, je nachdem sie als Holzkohle, Graphit und Diamant geprüft wird, und ist im letzten Falle kaum halb so gross als im ersten (Taf. V.).

Das plötzliche vorübergehende Erglühen mancher Stoffe, während man sie einer höheren Temperatur aussetzte, scheint die Folge einer Verminderung der spec. Wärme zu seyn, dadurch bewirkt, dass die kleinsten Theile in einen Zustand innigerer Berührung treten und ein Aggregat von dichterer Beschaffenheit bilden. (Regnault. Pogg. Ann. B. 53. S. 243.)

Von der specifischen Wärme der Atome.

91. Durch die Untersuchungen der Chemiker ist es gelungen, die Gewichtsverhältnisse der Körperatome mit grosser Wahrscheinlichkeit zu ermitteln. Die Zahlen, welche diese Verhältnisse ausdrücken, z. B. auf das Gewicht des Sauerstoffes = 100 bezogen, nennt man die Atomgewichte, auch Atome der Körper.

Eine Vergleichung der Atomgewichte verschiedener Stoffe mit ihren spec. Wärmen hat das Bestehen der nachfolgenden, eben so merkwürdigen, als im Ausdrucke einfachen Naturgesetze höchst wahrscheinlich gemacht.

1) Die Atome der einfachen Stoffe besitzen entweder gleiche Capacität für die freie Wärme, oder die Capacitäten der einen stehen zu denen der andern in ganz einfachen Zahlenverhältnissen.

2) Die Atomgewichte zusammengesetzter Körper von gleicher atomistischer Zusammensetzung, z. B. die proportional zusammengesetzten Oxyde, Chloride, Sulphide u. s. w. besitzen gleiche Capacität für die freie Wärme.

Das erste dieser Gesetze findet eine vollkommne Bestätigung in dem Verhalten mehrerer einfachen Gase, des Sauerstoffs, Stickstoffs und Wasserstoffs, indem man gefunden hat, dass gleiche Volume derselben auch gleiche Wärmecapacität haben. Gleiche Volume dieser Gase bei gleicher Temperatur und gleichem äusseren Drucke entsprechen aber nach der gewöhnlichen Annahme einer gleichen Anzahl Atome.

Eine annähernde Bestätigung findet dieses Gesetz für eine grosse Zahl einfacher Stoffe, die in flüssiger oder fester Aggregatform auftreten und deren spec. Wärme untersucht worden ist. Multiplicirt man nämlich die spec. Wärme der Gewichtseinheit eines jeden dieser Stoffe mit seinem Atomgewichte, oder mit der von den Chemikern dafür angenommenen Zahl, so sind die erhaltenen Producte entweder nahe gleich, oder es besteht zwischen denselben das Verhältniss 1 : 2 oder 2 : 3 oder ein anderes einfaches Zahlenverhältniss (vergl. Taf. VI.) Weniger streng wird die Annahme des zweiten Gesetzes durch die bis jetzt bekannten, übrigens sehr zahlreichen Versuche gerechtfertigt. Eine scharfe Uebereinstimmung zwischen den Resultaten der theoretischen und experimentellen Untersuchung lässt sich aber auch hier gar nicht erwarten, weil die spec. Wärmen der Körper, so wie dieselben durch die Mengungsmethode ermittelt sind, nicht das wahre Verhältniss ihrer Capacitäten für freie Wärme bezeichnen können (88), sondern immer, je nachdem der untersuchte Körper von sehr dichter oder weniger dichter, von harter oder weicher Beschaffenheit, krystallinisch oder amorph, fest, flüssig oder gasförmig war, je nachdem er bei einer dem Schmelzpuncte nahen oder davon weit entfernten

peratur, oder endlich je nachdem er zwischen geringeren weiteren Temperaturgränzen untersucht worden ist, bald ·, bald weniger mit einem Fehler behaftet seyn müssen, der s von der zunehmenden Wärmecapacität im Allgemeinen, s von der unregelmässigen Aufnahme von gebundener Wärme ührt. Es ist daher nicht sowohl eine vollkommne Uebereinmung der theoretischen und Erfahrungs-Resultate, was den ren zur Stütze dienen kann, als vielmehr eine Annäherung rhalb wenig entlegener Gränzen.

Von den bewegenden Kräften im Allgemeinen und insbesondere von der Schwerkraft.

Begriffs-Bestimmungen. Geradlinigte Bewegung.

92. Diejenige Stelle im Raume, welche ein Körper einnimmt, ist sein Ort. Lage eines Ortes nennt man die Beziehungen selben zu andern Puncten im Raume.

Ein Körper ist in Ruhe, wenn weder er selbst noch seine Theile Lage verändern. Er befindet sich in Bewegung, wenn er bst oder seine Theile nach und nach verschiedene Orte im ume einnehmen.

Unser Urtheil über Ruhe- oder Bewegungszustand eines Körpers ist stets ativ; d. h. es bezieht sich auf eine Vergleichung seines Zustandes mit dem derer Körper.

93. Jede Veränderung des Zustandes eines Körpers (Uebeng der Ruhe zur Bewegung oder der Bewegung zur Ruhe) ist Folge äusserer Einwirkungen (6). Die Unfähigkeit der Körpersse, selbstständig, d. i. unabhängig von äusseren Ursachen, ihren stand zu ändern, wird mit dem Worte Trägheit (Unthätigkeit, rtia) bezeichnet.

94. Jede äussere Ursache, jede Kraft, welche für sich fähig ist, en Körper in Bewegung zu setzen, wird bewegende Kraft nannt.

Wird ein Körper, wenngleich er unter dem Einflusse einer begenden Kraft steht, durch irgend eine Veranlassung verhindert, zu bewegen, so äussert sich die bewegende Kraft als Druck er als Zug.

Druck oder Zug ist also nichts Anderes, als das fortdauernde eben, den Bewegungszustand herbeizuführen.

95. Die äussere Ursache des Falles der Körper wird Schwere der Schwerkraft genannt. Man kann sich dieselbe als eine Anhung vorstellen, welche von der Erde ausgeht und welcher jeer einzelne Erdkörper unterworfen ist. Die Bewegung gegen die de, die wir Fall nennen, ist eine Folge dieser Anziehung.

Die Körper sind zu jeder Zeit dem Einflusse der Schwere unworfen; sie besitzen selbst dann ein Streben zu fallen, wenn

sie durch eine Unterlage daran verhindert sind. Der Druck, wel sie dann auf die Unterlage äussern, der fortdauernde Antrieb puls) zur Bewegung, zum Falle, heisst Gewicht.

Der ruhende Körper wiegt; bei dem Falle verwandelt sich dieser Dru Bewegung. Wir sind daher berechtigt, aus der Gleichheit der Gewichte auc gleich grosse bewegende Kräfte zu schliessen. Auch die Zugkraft des Pfe die Elasticität einer gespannten Feder, die Ausdehnsamkeit eines zusamme pressten Gases u. s. w. sind bewegende Kräfte, die sich bald nur als D äussern, bald wirklich Bewegung erzeugen.

96. Eine gerade Linie, nach welcher irgend ein sehr klei Theil der Körpermasse, ein materieller Punct, unter dem E flusse bewegender Kräfte, eine wenn auch noch so kurze Stre fortschreitet, nennt man die Richtung der Bewegung inn halb dieser Strecke. Bewegt sich der materielle Punct unter ausschliesslichen Einflusse einer einzigen Kraft, so muss die Ri tung der Bewegung zugleich diejenige der Einwirkung, d. i. Richtung der Kraft bezeichnen.

So erkennt man z. B. aus dem Wege eines fallenden Körpers die Rich der Schwerkraft.

Am deutlichsten erkennt man die Richtung einer Kraft aus d jenigen eines Fadens, der am einen Ende befestigt und am ande durch diese Kraft gespannt ist.

Ein solcher Faden, der von irgend einem festen Puncte hera hängt und dessen unterem Ende ein Gewicht angeknüpft ist, hei Senkel oder Loth. Er bezeichnet in der Ruhelage die Richtu der Schwere des anhängenden Körpers, weil dieser in derselb Richtung fällt, sobald man den Faden durchschneidet. Eine gera Linie, gleichlaufend mit dem Wege eines fallenden Körpers, wi daher eine senkrechte oder lothrechte genannt.

97. Mehrere Lothe in mässigem Abstande von einander auf hängt sind gleichlaufend. Es folgt hieraus, dass mehrere bena barte Körper, aber auch dass sämmtliche Theile eines und dess ben Körpers vermöge der Anziehung der Erde sich nach einer Richtung zu bewegen streben.

Aus astronomischen Untersuchungen hat sich ergeben, das Richtungen sehr weit von einander abstehender Lothe einen kel bilden, dessen Scheitelpunct beinahe genau der Mittel der Erde ist; d. h. die Schwere ist allenthalben auf der Erd fläche gegen den Mittelpunct der Erde gerichtet; oder die Wirk gen der Schwerkraft sind von der Art, als ob diese anzieh Kraft ihren Sitz im Erdmittelpuncte hätte.

98. Eine ebne Fläche, so gelegt, dass das Loth oder dessen V längerung nach allen Seiten hin rechte Winkel damit bildet, he eine wagerechte oder horizontale Ebne. Das Loth gew uns also ein sehr einfaches Hülfsmittel, einer Ebne die horizon Lage zu geben, oder auch durch einen beliebig angenomme Punct eine wagerechte Fläche zu legen.



Eine Fläche, welche man sich so gelegt denkt, dass sie alle n Mittelpuncte der Erde ausgehende gerade Linien, im Abstande s mittleren Erdhalbmessers rechtwinklich durchschneidet, wird horizontale Erdoberfläche genannt.

Die horizontale Erdoberfläche muss eine kugelförmige Fläche n, weil nur letztere die Eigenschaft besitzt, dass alle von ihrem elpunete aus darauf gezogenen geraden Linien, alle Lothe, kelrecht darauf stehen.

99. Eine Kraft, die einer andern in ihrer Richtung entgegent und dadurch die Wirksamkeit dieser letzteren aufzuheben ebt, heisst **Widerstand.**

100. Wenn beide entgegengesetzten Kräfte an Grösse genau h sind, oder wenn jede für sich genommen der Körpermasse dieselbe Bewegung einprägen würde, so kann durch ihre einschaftliche Thätigkeit keine Veränderung bewirkt werden. sagt dann: die bewegende Kraft und ihr Widerstand sind im leichgewichte.

Das an einem Faden hängende oder auf einer Unterlage ruhende ewicht ist verhindert, sich zu bewegen, weil die Festigkeit des Fadens oder der Unterlage einen Widerstand bietet, an Grösse eich der Wirkung der Schwere.

Ein Körper, den man auf der Hand trägt, kann nicht fallen, so ge die Muskelkraft der Hand seinem Gewichte einen gleich ossen Druck entgegensetzt.

Ein Gewicht, welchem durch irgend eine andere Kraft das ichgewicht gehalten wird, ist ein Mass für die Grösse dieser dern Kraft, dieses Gegendruckes. Wir besitzen hierdurch ein el, alle fortwirkenden Kräfte, hinsichtlich ihrer Grösse auf Gee zurückzuführen (35).

101. Die Kräfte **wirken**, oder erzeugen einen **Effect**, in der it.

102. Ein Loth aus seiner Gleichgewichtslage gebracht und dann selbst überlassen, bewirkt eine Reihe von Hin- und Herbeween, die man **Schwingungen** (Oscillationen) nennt. Der einer einzelnen Schwingung heisst ihre **Weite.**

as schwingende Loth wird gewöhnlich **Pendel** genannt.

Die Beobachtung lehrt, dass die Schwingungen verschiedener el zwar sehr verschieden seyn können, aber bei demselben zeuge und bei mässiger Schwingungsweite stets gleiche r haben. Daher der Ausdruck **isochronische** (gleichdaue) Schwingungen. Man benutzt daher das Pendel als Mass für he Zeittheile. Ein Pendel, welches eine Schwingung in einer nde vollendet, wird Sekunden-Pendel genannt.

enn das Pendel als Zeitmass dienen soll, ersetzt man gewöhnlich den men Faden durch eine unbiegsame, übrigens leichte Stange, z. B. von Holz,

die nicht an einem Puncte befestigt ist, sondern auf einer wagerec der Schneide oder Axe ruht. Das Gewicht am unteren Ende erhält einer Linse, damit es die Luft leichter durchschneidet. — Der Gebrauc dels als Zeitmass ist von Huyghens eingeführt worden.

103. Eine kreisförmige, um ihren festen Mittelpunct be Scheibe, Rolle genannt, die in jeder Lage, die man ihr mag, in Ruhe bleibt, nennt man richtig centrirt. Wird solche Rolle ein Faden geschlungen, und befestigt man an derseits herabhängenden Enden desselben gleiche Gew halten diese einander im Gleichgewichte. Diese einfach nung bildet den wesentlichsten Theil eines für das exper Studium der Bewegungsgesetze sehr wichtigen Apparates seinem Erfinder die Atwood'sche Fallmaschine genar

Zu dieser Maschine gehört ausserdem ein Pendel, welches, indem Zeittheile, z. B. Sekunden schlägt, dazu dient, die Beziehungen zw und Raum aufzusuchen und zu messen; ferner ein senkrechter Mass in Pariser Zolle getheilt, vor welchem sich das eine dieser Gewicht nieder bewegen lässt, und der zugleich als Träger der Rolle dient. Massstabe sind zwei wagerechte Platten, von welchen die obere du ist, so angebracht, dass sie auf- und abwärts geschoben und an Stellen der Theilung festgestellt werden können *).

*) Pl. I, Fig. 1, zeigt eine sehr bequem eingerichtete Fallmaschine türlicher Grösse, die von dem Universitätsmechanikus Hoss fü sikalische Kabinet der Universität zu Giessen ausgeführt worde und Pendel haben jede ihren besonderen Träger; sie sind auf ei befestigt, das mittelst Stellschrauben und einer unter der Spitz dels in das Holz eingelassenen Spitze leicht so gerichtet wei dass beide Säulen senkrecht stehen. Die Rolle läuft, wie man ersieht, auf Spitzen, und an jedem Ende des um dieselbe gesc möglichst dünnen Seidenfadens hängt ein leichter Teller von Mes auf nach Bedürfniss verschiedene Gewichte von Messing oder werden können. Um diese Gewichte bequem zulegen und wieder zu können, ist ihr Querschnitt wie Fig. 5. gestaltet. Vor dem I Versuches wird die untere Fläche des vor dem Massstabe herab Tellers in gleiche Höhe mit der wagerechten Oberfläche des Zeigers der den Nullpunct der Scale bezeichnet, gerichtet. Damit aber di Augenblicke des Falles an genau gemessen werden kann, die Fig. 2. 3. und 4. näher zu ersehende Einrichtung. Die Säulen, w Pendel und die Rolle tragen, sind im Innern hohl, und nehmen d Holzstäbe ad und be (Fig. 2) auf, die bei a und b durch Stifte mit stange ac zusammenhängen; letztere ist um den festen Punct Ein metallenes Querstück q (Fig. 1. und 4.) am oberen Ende des befestigt, tritt aus der Säule, woran das Pendel hängt, hervor. dieses Stück, so geht auch der Stab be in die Höhe, wodurch ein Ende desselben befestigter Draht gh (Fig. 3.) aufwärts gesch und vor ein Stift h tritt, das am Rande der Rolle eingesetzt ist wird hierdurch festgestellt. Auf der Pendelstange sitzt eine bi um einen Stift bewegliche Stahlscheibe m, (Fig. 4.), die bei jed schwingung, mittelst des Stiftes n einen kleinen, an federndem befestigten Hammer hebt. Der niederfallende Hammer schlägt da Glocke p und macht dadurch das Ende einer jeden Schwingung Gehör bemerkbar. Ueber dem Hammer schwebt der eine Arm d

)4. Das bewegliche System an der Fallmaschine (Rolle, Faden nhängende gleiche Gewichte) für sich verharrt in jeder Lage, an ihm geben kann, im Gleichgewichte. Bringt man aber auf Seite ein kleines Uebergewicht an, dann das doppelte, drei- u. s. w., so tritt jedesmal Bewegung ein, und die in gleichen n beschriebenen Wege verhalten sich wie die zugelegten klei- ìewichte.

ieses Erfahrungsgesetz ist ganz unabhängig von der Masse ewegten Systems.

an muss hieraus schliessen: dass, wenn zwei in einen ıer wirkende Kräfte einander das Gleichgewicht en (wie die beiden anhängenden Gewichte) dieser Körper gegen eine dritte Kraft (das aufgelegte kleine Ueber- cht), deren Wirksamkeit kein Widerstand entgegen-, ganz so verhält, wie eine träge Masse.

r Grund dieses Verhaltens ist: weil das eine Gewicht um eben so viel ge- als das andere gesenkt wird, mithin die beiden gleichen Kräfte (Gewichte) e aber entgegengesetzte Wege zurücklegen, folglich ihre Wirkungen te) ganz so wie im Ruhestande, sich wechselseitig aufheben müssen.

)ieser Satz kann auch auf folgende Art ausgedrückt werden: nn zwei Kräfte in entgegengesetztem Sinne in e Körpermasse wirken, ohne einander das Gleich- wicht zu halten (ungleiche Gewichte an beiden Enden des dens), so verhalten sich die in gleichen Zeiten be- riebenen Wege, wie die Unterschiede dieser Kräfte. d aber mehrere Kräfte in gleichem Sinne thätig, so iren sich ihre Wirkungen.

105. Man gebe dem Auflege-Gewichtchen eine passende Gestalt, lass es während des Niedersinkens zu einer bestimmten Zeit der an die geeignete Stelle geschobenen durchbrochenen Platte ückgehalten wird. Die bewegte Masse, von diesem Augen- ke an von keiner bewegenden Kraft mehr getrieben, wird ichwohl ihren Weg fortsetzen, und man wird finden, dass die chriebenen Räume, nach 1, 2, 3 u. s. w. Pendelschlägen ge- sen, sich verhalten wie die verfliessenden Zeittheile, nämlich die Zahlen 1, 2, 3 u. s. w. Also während der Dauer eines je- Pendelschlages wird ein gleich grosser Weg zurückgelegt. Diese Art der Bewegung heisst die gleichförmige.

Arm *t* sich drehenden Winkelhebels *u t v*, während der andere Arm dessel- ben Hebels wider ein Stift *r* drückt, das in einem Einschnitte des Quer- stückes *q* angebracht ist; das Stift *r* hängt sich daher in die Vertiefung *v*, so wie das Querstück *q* gehoben wird, und letzteres ist dadurch gehindert, zurückzufallen. Zugleich hat sich aber das Ende *u* des Hebels dem Ober- theile des Hammers genähert; indem nun das schwingende Pendel den Ham- mer hebt, wird auch *u* gehoben; das Querstück *q* löst sich aus und fällt nie- der, mit ihm sinkt der Draht *h g*, und die Rolle wird frei, dergestalt, dass also der erste Glockenschlag den Anfang des Versuches bezeichnet.

Es ist kein Grund einzusehen, warum die einmal gleichf gewordene Bewegung, insofern derselben durch äussere Urs nichts zugefügt oder entzogen wird, jemals aufhören sollte, i ser Art fortzudauern. Wir folgern hieraus: dass die Kö masse, gleich wie sie sich nicht selbst Bewegur ertheilen vermag, einmal in Bewegung gesetzt, auch nicht selbst wieder zur Ruhe bringen kann. I wichtige, aus der Erfahrung abgeleitete Grundsatz wird da setz der Trägheit genannt. Dieses Gesetz gestattet auch fol Ausdrucksweise: die träge Masse muss jedem äuss Eindrucke im Verhältnisse zur Grösse desselbei in dessen Richtung vollständig nachgeben. Die durch hervorgebrachte Wirkung bleibt, so lange neue äussere Einflüsse in's Spiel treten, unverän

Diesem Gesetze gemäss sollte jede einmal begonnene Bewegung nicl der aufhören dürfen. Wir bemerken im Gegentheil, dass die einer Körpei durch vorübergehende Einwirkungen mitgetheilten Bewegungen nach un langsamer werden und zuletzt ganz aufhören. Der Grund liegt theils in d genwart von Widerständen oder entgegengesetzten Kräften, theils dari der uns zunächst umgebende Raum überall mit Materie, z. B. mit Luft, ist, folglich jede bewegte Masse andere träge Massen vor sich wegr d. h. einen Theil ihrer eigenen Bewegung auf diese übertragen muss. Die Betrachtung dieser Verhältnisse, weit entfernt, dem Gesetze der Träg widersprechen, hat vielmehr dazu gedient, die Allgemeinheit desselben stätigen.

106. Der Weg, welchen ein Körper bei gleichförmiger I gung in der Einheit der Zeit, insbesondere in einer Sekund rücklegt, heisst seine Geschwindigkeit.

Geschwindigkeit ist also bei einem bewegten Körper das jedesmalig hältniss zwischen Zeit und Raum (Weg). Der ganze, bei gleichförmig fo ernder Bewegung beschriebene Weg ist das Product der Zeit in die Ges digkeit. Geschwindigkeit, Zeit und Raum werden insgemein durch die Z c, t und s ausgedrückt; man darf demnach setzen $s = c.\ t$.

Körpermassen, worin alle wirksamen Kräfte einander das Gleichg halten, und welche dadurch den Charakter von trägen Massen angenomm ben (104), befinden sich entweder in Ruhe, oder sie bewegen sich mit de mal gewonnenen Geschwindigkeit unveränderlich fort. Beispiel eines S das durch den Wind getrieben, eines Frachtwagens, der durch Pferde mit ; förmiger Bewegung fortgezogen wird. Der gleichförmige Gang der Uh dadurch erhalten, dass die Bewegung, welche das Räderwerk, sow schwingende Pendel an die Luft abgeben muss und durch Widerstände ei durch die Triebkraft (eine sich aufwickelnde gespannte Feder oder ein des Gewicht) regelmässig wieder ersetzt wird. Aehnlich verhält es sich l Betriebe aller Maschinen.

107. Die Geschwindigkeit eines Körpers bei fortdauernde wirkung einer bewegenden Kraft oder eines Widerstandes is änderlich; sie nimmt im ersten Falle zu, und vermindert si zweiten.

Die Fallmaschine gestattet vermöge der ihr gegebenen Einrichtun nur die unter fortdauernder Einwirkung einer bewegenden Kraft währen

itraumes beschriebenen Wege (104), sondern auch die nach Ende aumes gewonnenen Geschwindigkeiten (105) zu messen.

Abmessung 1) der Geschwindigkeiten, welche dem be- Systeme an der Fallmaschine während 1, 2, 3, 4 u. s. f. lägen, durch ein und dasselbe Uebergewicht ertheilt wer- 2) der Geschwindigkeiten, welche es immer in derselben dem Einflusse des einfachen, doppelten, dreifachen Ue- tes u. s. w. erhält, oder 3) der Räume, die bei unverän- bergewichte in 1, 2, 3, 4 u. s. f. Pendelschlägen beschrie- n, wird man zu folgenden Erfahrungsgesetzen geleitet: Geschwindigkeiten einer Körpermasse unter dem Ein- und desselben Gewichtes mitgetheilt, verhalten sich wie der Einwirkung.

Geschwindigkeiten, der Körpermasse unter dem Einflusse Gewichte, aber in gleichen Zeitabschnitten mitgetheilt, sich wie die Gewichte.

unter dem Antriebe desselben Gewichtes beschriebenen halten sich wie die Quadrate der Zeiten.

Venn man sich vorstellt; dass der einer trägen Masse e bewegende Kraft eingeprägte Trieb zur Bewegung der bereits eingetretenen Bewegung ebenso fortwirke, uhezustande, so fliessen obige drei Erfahrungsgesetze r aus dem der Trägheit. Sie belehren uns daher: **dass fehung der Schwere auf fallende Körper eine derlich fortwirkende Kraft ist.**

, welche, ähnlich der Schwere, auf den bewegten Körper fortwirken, wie auf den ruhenden, werden **gleichför- hleunigende Kräfte** genannt. Die der Einwirkung ei- n Kraft entsprechende Bewegung heisst die **gleich- eschleunigte.**

ein Körper erhalte durch die bewegende Kraft in der ersten Sekunde indigkeit = c, so bleibt ihm dieselbe nach dem Gesetze der Träg- r die Folgezeit. Vom Ende der ersten bis zum Ende der zweiten Se- durch die unveränderte Kraft dieselbe Geschwindigkeit noch einmal sgleichen in jeder folgenden Zeiteinheit. Da nun alle diese ein- n Geschwindigkeiten nach Annahme bleiben, so muss die Endege- it nach t Sekunden C = c t seyn.

erhältniss der Zunahme gilt aber nicht blos für die Sekunden, es grössten, wie für die kleinsten Zeitabtheilungen gleichmässig ein- yen z. B.

$$\frac{1}{n}, \frac{2}{n}, \frac{3}{n}, \frac{4}{n} \dots \frac{n}{n}$$

klein gedachten gleichen Unterabtheilungen der Sekunde, so sind:

$$\frac{1}{n}.c, \frac{2}{n}.c, \frac{3}{n}.c, \frac{4}{n}.c \dots \frac{n}{n}.c$$

erabtheilungen der Zeiteinheit zugehörigen Geschwindigkeiten. Jede ultiplicirt mit $\frac{1}{n}$, d. i. mit dem kleinen Zeittheilchen, welchem sie zu-

gehört, gibt den beiden zugehörigen Weg, die Summe aller dieser Theilpr dukte aber den ganzen Weg in der Sekunde. Dieser (er mag mit g bezeich werden) muss daher seyn:

$$g = \frac{1}{n}\left(0 + \frac{1}{n}c + \frac{2}{n}c + \ldots + \frac{n}{n}c\right) = \frac{c}{n^2}\left(0 + 1 + 2 + \ldots + n\right)$$

$$= \frac{c}{n^2} \cdot \frac{n^2}{2} = \frac{c}{2}$$

Der bis zu Ende der Zeiteinheit beschriebene Weg ist gleich Hälfte der bis dahin gewonnenen Geschwindigkeit, oder, was selbe sagt, gleich der Hälfte desjenigen Weges, der in der folgenden gle Zeit und bei gleichförmiger Bewegung zurückgelegt werden müsste.

Dieser Satz bleibt wahr, mag nun als Zeiteinheit die Sekunde oder jeder dere Zeitabschnitt gewählt werden.

Die Geschwindigkeit nach t Sekunden ist $C = c\,t$; daher der Weg in der genden gleichen Zeit, nämlich wieder in t Sekunden, aber bei gleichförmiger wegung (er werde durch 2 S vorgestellt) $2\,S = C.t = c\,t.\,t.$

Der in den ersten t Sekunden mit gleichförmiger Beschleunigung beschr bene Weg ist nur halb so gross; daher $S = \frac{c\,t^2}{2} = g t^2$.

D. h. **der ganze in t Sekunden zurückgelegte Weg wird erhalten, indem man den Weg in der ersten Sekunde mit dem Quadrat der Bewegungszeit multiplicirt.**

Die Gleichungen:

$$C = c\,t = 2\,g\,t;\ (\alpha) \text{ und } S = g\,t^2 = \frac{c\,t^2}{2}\ \ (\beta)$$

enthalten alle Bedingungen der durch gleichförmig beschleunigende Kräfte bewirkten Bewegung. Durch Verbindung derselben lassen sich noch die folgenden, in vielen Fällen sehr nützlichen Gleichungen, in welchen die Zeit nicht me vorkommt, ableiten:

$$C = \sqrt{4\,g\,S} = \sqrt{2\,c\,S};\ (\gamma) \text{ und } S = \frac{C^2}{4\,g}\ (\delta)$$

109. Die Geschwindigkeit, welche eine gleichförmig beschle nigte Körpermasse nach der ersten Sekunde erlangt hat, wird ih Beschleunigung genannt. Die Beschleunigung ist (bei ungeä derter Körpermasse) der fortwirkenden Kraft proportional (107;3) und kann daher als Mass für die letztere gelten.

Beispiel: Das bewegliche System an der Fallmaschine, durch ein willk liches Uebergewicht von 5 Grm. getrieben, legte in 6 Pendelschlägen einen von 57,6 Zoll zurück. Die Beschleunigung war demnach

$$(108, \beta)\ c = \frac{2\,.\,57{,}6}{36} = 3{,}2''.$$

Welches Uebergewicht ist anzuwenden, damit die Beschleunigung 2 Zoll werd Man setze, um diese Frage zu lösen, $3{,}2 : 2 = 5 : (x = 3{,}125$ Grm.). Durch d Uebergewicht von 3,125 Grm. wird also die verlangte Bedingung erfüllt. B Anwendung desselben ist die Endgeschwindigkeit $C = 2\,t$; der ganze W $S = 1\,.\,t^2$.

Dieselben Ursachen, welche die gleichförmig beschleunigte Bewegung an d Fallmaschine bedingen, wirken auch bei frei fallenden Körpern, nur da hier die Schwere sämmtlicher vorhandener materieller Theile zu der Beweg beiträgt. Kennt man daher das Verhältniss, in welchem die Beschleunigung d freien Falles bei dem Falle an der Maschine verlangsamt ist, so lässt sich a dem letzteren der erstere berechnen.

Angenommen, das bewegliche System nebst Uebergewicht sind so gewählt ·den, dass die Geschwindigkeit in jeder Zeitsekunde um 2 Zoll zunimmt. ie Gewichtsmassen auf beiden Seiten der Rolle, im Gleichgewichte zugefügt, rden diese Bewegung verlangsamen; ein richtig gewähltes und auf der Seite · niedergehenden Bewegung zugelegtes Uebergewicht wird wieder die frühere schleunigung herbeiführen. Man findet nun, dass dies allemal geschieht, so oft f je 180 Grm. vertheilter Masse 1 Grm. als Uebergewicht in Wirksamkeit tritt. ann die Schwere sämmtlicher 181 Grm. zu der Bewegung beitragen, so muss e Beschleunigung 181 mal grösser werden. Die Beschleunigung der Schwere t demnach c = 2 . 181 Zoll = 30,166 Fuss; der Fallraum eines Körpers in r ersten Sekunde beträgt 15,083 Fuss Par. M.

Direkte Versuche über den freien Fall stimmen damit so ziemlich überein. reng genommen ist jedoch der sogenannte freie Fall keine gleichförimg beschleunigte Bewegung, weil er keine ganz freie Bewegung ist, sondern durch e Luft mit der zunehmenden Geschwindigkeit mehr und mehr aufgehalten ird (174).

Die Gesetze des Falles sind zuerst von Galileo (1602) dargestellt und bewiesen worden.

Anwendungen: Wie hoch ist ein Thurm, von welchem eine Bleikugel binnen Sekunden herabgefallen ist? Welche Geschwindigkeit erlangt ein Stein, der on 20 Fuss Höhe herabfällt? Welche Geschwindigkeit erlangt derselbe, wenn an ihn von derselben Höhe mit 5 Fuss Geschwindigkeit herabwirft? Von welcher Höhe hätte er herabfallen müssen, um eben diese Geschwindigkeit durch ie Schwere allein zu gewinnen?

Die Beschleunigung der frei wirkenden Schwere dient als Masseinheit für andere beschleunigende Kräfte, ähnlich wie man bewegende Kräfte und Widerstände durch Gewichte misst (100).

110. Wenn verschiedene Körper sich mit gleicher Beschleunigung bewegen, so müssen ihre Massen sich verhalten, wie die sie bewegenden Kräfte, denn je gleiche Quantitäten träger Massen bedürfen gleicher bewegender Kräfte, um in derselben Zeit einerlei Geschwindigkeit zu erhalten.

Dieser Satz ist eigentlich nur ein veränderter Ausdruck des Gesetzes der Trägheit (105), und fliesst daher aus letzterem als eine nothwendige Folge.

Die Fallmaschine als ein Mittel betrachtet, die Schnelligkeit (Intensität) des Falles zu vermindern, ohne doch die Gesetze zu ändern, nach welchen er vor sich gehen muss, ist eine Anwendung dieses Satzes.

111. Es ist bisher angenommen worden, dass die Masse eines jeden Körpers proportional sey seinem Gewichte (28), d. h. der Stärke der Erdanziehung auf die ganze Summe vorhandener materieller Theile. Wenn diese Annahme richtig ist, müssen alle Körper ganz unabhängig von ihren übrigen Eigenschaften, mögen sie nun der freien Wirksamkeit der Schwere oder einer auf proportionale Weise veränderten Schwere ausgesetzt seyn, stets gleiche Beschleunigung, oder was dasselbe ausdrückt, in gleichen Fallzeiten gleiche Geschwindigkeiten gewinnen.

Die Versuche an der Fallmaschine entsprechen auf befriedigende Weise dieser Folgerung, denn sie erscheinen ganz unabhängig von der chemischen Beschaffenheit der bewegten Masse. Auch im leeren Raume fallen alle Körper, z. B. Gold, Blei, Korkholz, Federn, mit gleicher Geschwindigkeit. In der Atmosphäre

dagegen werden Körper von ungleicher Dichtigkeit ungleich, und zwar ganz leichte Stoffe sehr merklich aufgehalten. Eine noch grössere Verschiedenheit zeigt sich bei'm Falle durch das Wasser. Offenbar müssen also Flüssigkeiten auf fallende Körper von ungleicher Dichte einen ungleichen Widerstand äussern.

112. Bei Körpern, welche in die Höhe geworfen werden, wirkt die Schwere als Widerstand. Dieser Widerstand ist ein gleichförmig fortwirkender. Der aufsteigende Körper verliert daher in jeder Sekunde gleich viel (30 Fuss) von seiner anfänglichen Geschwindigkeit; so viel nämlich, als er frei fallend in derselben Zeit gewonnen haben würde (108). Die Aufsteigegeschwindigkeit muss daher nach einer Anzahl Sekunden $\left(t = \frac{C}{c}\right)$ völlig zernichtet werden und der während dieser Zeit nach oben zurückgelegte Weg (die sogenannte Steighöhe) genau derselbe seyn, welchen der Körper in derselben Zeit unter dem Einflusse der Schwere abwärts zurückgelegt haben würde (108 β, δ).

Diese Betrachtung zeigt nicht nur ein sehr einfaches Mittel, den Weg und die Geschwindigkeit eines aufsteigenden Körpers zu jeder Periode seiner Bewegung zu berechnen, sondern sie deutet auch den rechten Gesichtspunct an, von welchem aus im Allgemeinen der Einfluss der Widerstände aufgefasst werden muss:

Der Widerstand, durch den eine bewegte Masse in einer gewissen Zeit zur Ruhe gelangt, ist stets einer bewegenden Kraft gleich, welche derselben trägen Masse in derselben Zeit, eine ihrer anfänglichen gleiche Geschwindigkeit, aber in entgegengesetztem Sinne ertheilen würde.

Beispiel: Welche Höhe würde eine mit 600 Fuss Geschwindigkeit aufsteigende Büchsenkugel im luftleeren Raume erreichen können? — Um diese Geschwindigkeit zu erlangen, muss ein Körper von der Höhe (108 δ) $S = \frac{(600)^2}{60}$ $= 6000$ herabfallen. Dies ist also die Steighöhe. Bei unveränderter Steige-Geschwindigkeit, d. h. ohne den Widerstand der Schwere, würde die Kugel in derselben Zeit die doppelte Höhe erreicht haben.

Die Widerstände vermindern die anfängliche Geschwindigkeit eines bewegten Körpers nicht immer gleichförmig, d. h. sie wirken nicht immer als gleichförmig verzögernde Kräfte. Immer aber lässt sich die Gesammtgrösse ihrer Wirksamkeit während einer gewissen Zeit (der ganze Geschwindigkeitsverlust des bewegten Körpers) der Wirkung eines Gewichtes (eines Druckes) vergleichen, welches in derselben Zeit demselben Körper eben die Geschwindigkeit ertheilen könnte, die durch die Widerstände verzehrt worden ist.

Beispiel: eine Masse von 12,000 Pfund (etwa ein beladener Wagen) hat die Geschwindigkeit von 40 Fuss angenommen. Wie gross muss ein fortwirkender Widerstand seyn, damit binnen 10 Secunden die Ruhe wieder hergestellt werde? — Diese Frage ist gelöst, wenn man ausfindig gemacht hat, durch welchen gleichförmig anhaltenden Gegendruck der Masse eine Geschwindigkeit von 40 Fuss in 10 Secunden ertheilt werden kann. Die dazu nöthige Beschleunigung i

s, denn 40 = 4.10. Diese Beschleunigung ist nun $\frac{4}{30}$ von derjenigen der ere, folglich die gesuchte Kraft als Gewicht ausgedrückt, $\frac{4}{30}$ von 12,000 = 1600 Pfund.

ı sich die einer Masse M (nämlich einer Masse, welche als schwerer Kör- i Pfund wiegt) ertheilten Beschleunigungen wie die bewegenden Kräfte lten (109), so ist im Allgemeinen die einer Kraft k entsprechende Be- unigung $c = c\frac{K}{M}$.

aher die Geschwindigkeit nach t Secunden $C = c\frac{K}{M}t$ (α'); der Weg nach r Zeit $S = \frac{c\,K}{2\,M}t^2$ (β'); woraus sich ferner die abgeleiteten Gleichungen (108) $\sqrt{2\,c\frac{K}{M}\,S}$ (γ') und $s = \frac{C^2 M}{2\,c\,K}$ (δ') ergeben.

.13. **Einer ruhenden Körpermasse kann eine gewisse Ge- windigkeit der Bewegung niemals plötzlich, sondern nur durch ählige Uebergänge ertheilt werden, ebenso wie ein bewegter er immer nur allmählig zur Ruhe zurückkehrt.**

ieser Satz ist nur eine Umschreibung des schon in 101 ausgedrückten dsatzes: dass die Kräfte in der Zeit wirken. Derselbe wird jetzt voll- men verständlich sein.

114. **Da die Grösse der Geschwindigkeit, welche einer gege- ıen Körpermasse ertheilt werden kann, im zusammengesetzten hältnisse steht: der bewegenden Kraft und der Wirkungszeit 7), so folgt: dass eine jede Verminderung der einen dieser ssen durch proportionale Vermehrung der andern wieder er- t werden kann; d. h. so lange das Product, welches durch iplikation der Kraft mit der Zeit erhalten wird, ungeändert ıt, wird auch die einem Körper ertheilte Endegeschwindigkeit nicht ändern.**

eispiel: Die Kraft des Schiesspulvers ist so gross, dass z. B. die Wände Kugelbüchse bei weitem nicht fest genug seyn würden, um zu widerstehen, ı die ganze Ladung sich auf einmal entzünden und mithin die ganze Kraft einmal sich frei äussern könnte. Aus diesem Grunde ist die Zusammen- ung und Bereitungsweise des Schiesspulvers darauf berechnet, dass unbe- det der Wirksamkeit die Entzündung einer gewissen, wenn auch sehr kur- Zeit bedarf, dergestalt dass ein Theil der entwickelten Kraft bereits in die l übergegangen ist, und sich in Geschwindigkeit verwandelt hat, während andere sich erst erzeugt. Das geringe Stossen bei sehr grosser Triebkraft gezogener Kugelbüchsen beruht darauf, dass vermöge der Schraubenwin- ; die Kugel genöthigt ist, in dem Rohr einen grösseren Weg zurückzulegen, folglich länger darin zu verweilen, wodurch sie dem fortwirkenden Drucke allmählig sich entzündenden Pulvers längere Zeit ausgesetzt bleibt. — Ex- irende Substanzen, deren Zersetzung rascher als die des Schiesspulvers ich geht, z. B. Pulver, welchem chlorsaures Kali beigemischt ist, Knallsilber t. w., können zum Schiessen nicht benutzt werden, weil sie die Büchsen zer- ngen, bevor die Kugel Zeit hat heraus zu fliegen.

Bewegungsgrösse. Stoss unelastischer Körper.

115. Die Geschwindigkeit, welche ein Körper unter dem Ein-flusse einer bewegenden Kraft in einer gegebenen Zeit annehme kann, steht im umgekehrten Verhältnisse zur Grösse seiner Mas (102 *d*). Das Product der Multiplikation der Masse mit der Ge-schwindigkeit eines Körpers nennt man seine **Bewegung-grösse.**

Beispiel: Eine Kugel von $^1/_8$ Pfund Masse bei 800 Fuss Geschwindigkeit b-sitzt die Bewegungsgrösse 100. Ein Stein von 20 Pfund, dem eine Geschwindi-keit von 5 Fuss beigebracht worden, besitzt ebenfalls die Bewegungsgrös 100. Man kann sich daher vorstellen, dass beide Bewegungen durch gleic Kräfte während gleicher Wirkungszeiten erzeugt sind. Denkt man sich bei einander entgegengesetzt, so müssen sie sich aufheben, d. h. zur Ruhe bring

116. Das Zusammentreffen zweier Körpermassen, von dene sich wenigstens die eine in Bewegung befinden muss, wird Stos genannt. Die Wirkung des Stosses ist eine Uebertragung von Be-wegung von einem Körper in die Masse des andern, welche s lange vor sich geht, bis beide Massen einerlei Geschwindigkeit be-sitzen. Die Zeit dieser Uebertragung, d. h. die Zeit vom Beginn des Stosses bis zur gänzlichen Beendigung aller Einwirkung, ist immer sehr kurz, jedoch niemals Null, wenn auch für unsere Sinne gewöhnlich verschwindend.

Wer hat nicht schon die Erfahrung gemacht, dass Personen, die sich in ei-nem Schiffe oder Wagen befinden, bei plötzlichem Anhalten desselben eine Nei-gung empfangen, in der Richtung der früheren Bewegung hinzufallen? D Grund ist, weil die mit dem Schiffe in unmittelbarer Berührung stehenden Kö-pertheile durch den Stoss früher als der Oberkörper aufgehalten werden. Ebe so erklärt sich die grosse Gefahr des Herausspringens aus einem schn bewegten Wagen. — Man kann bekanntlich einen eisernen Hammer an seine Stiele dadurch befestigen, dass man letzteren lose in die Hand fasst und a das Ende desselben schlägt, oder umgekehrt, indem man dieses Ende mit ei-ger Heftigkeit gegen einen harten Gegenstand stösst. Im einen Falle the sich die Bewegung des Stiels nicht augenblicklich dem Hammer mit, im and Falle wird die des ersteren früher unterbrochen als die des letzteren.

In ähnlicher Weise muss sich die Wirkung des Stosses (Schlages) zun immer nur auf einzelne Theile der gestossnen Masse übertragen, und von di-sen allmählig auf andere Theile fortpflanzen. Das, was man Erschütteru nennt, ist die Folge dieser Ungleichzeitigkeit in der Einwirkung des Stoss auf die verschiedenen Theile eines Körpers.
Störung des Zusammenhanges durch Stoss.

117. Da sich die Bewegungsgrösse einer Körpermasse mit gle-chem Rechte als die Wirkung einer geringen Kraft, die lange Ze thätig war, oder auch einer grossen Kraft bei geringer Wirkung-zeit betrachten lässt, so kann man sich immer vorstellen, dass d stossende Körper gleich einer bewegenden Kraft wirke, von se grosser Stärke, aber verhältnissmässig kurzer Zeit.

Beispiel: Ein dünner Bindfaden, an einem Körper von mässigem Gewichte b-festigt, so dass er denselben sicher trägt, kann durch rasches Anziehen z

rissen werden, ohne merkliche Erschütterung des Gewichtes, weil die Bewegung der Hand, ursprünglich durch keine bedeutende Kraft erzeugt, im Augenblicke, da sich der Faden spannt und der Stoss erfolgt, sich als ein Druck von so bedeutender Stärke äussert, dass die Festigkeit des Fadens selbst nicht eine ganz kurze Zeit widerstehen kann.

Man wird sich jetzt leicht erklären, warum an und für sich geringe Kräfte, wenn sie als Stoss wirken, oft sehr grosse Widerstände zu überwältigen vermögen. Durch Hammerschläge z. B. lässt sich ein Balken verrücken, den die vereinte Kraft mehrerer Menschen nicht bewegen kann. Eintreiben der Nägel mit dem Hammer. Einrammen zugespitzter Pfähle u. s. w.

118. Durch den Stoss empfängt der eine Körper Bewegung r dadurch, dass der andere eben so viel und in derselben Richtung verliert, ganz so, als habe eine und dieselbe Kraft gleichzeitig in beide Massen, aber in entgegengesetztem Sinne, eingewirkt. Man findet daher die einer ruhenden Masse durch den Stoss mitgetheilte Geschwindigkeit, indem man die Bewegungsgrösse der stossenden durch die Summe beider Massen dividirt.

Gewalt grosser Massen, selbst bei langsamer Bewegung. Der Strom der a. Eisgang. Stoss grosser Schiffe gegen kleinere Fahrzeuge, schwer beladener Fuhrwerke gegen Widerstände auf der Strasse.

Waren beide Massen vor dem Stosse nach gleicher Richtung Bewegung, so wird die Summe dieser Bewegungen auch nach dem Stosse noch vorhanden seyn.

Bewegten sich beide Massen gegen einander, so bleibt nur der Unterschied beider Bewegungsgrössen übrig.

Allgemein wird die Geschwindigkeit beider Massen nach dem Stosse gefunden, indem man die Summe oder die Differenz der Bewegungsgrössen durch die Summe der Massen dividirt.

Beispiel: Die Masse 9 Pfund mit der Geschwindigkeit 15 Fuss, holt die Masse Pfund bei 10 F. Geschwindigkeit ein. Ihre gemeinschaftliche Geschwindigkeit nach dem Stosse ist $\frac{9.15 + 6.10}{9 + 6} = 13$ Fuss. Stossen beide gegen einander, so ist die Geschwindigkeit nach beendigter Einwirkung $\frac{9.15 - 6.10}{9 + 6} = 5$ Fuss.

Diese Rechnung gibt übrigens nur das unmittelbare Resultat der wechselseitigen Uebertragung von Bewegung zweier trägen Massen. Die Endewirkung fällt wegen des Einflusses der Elasticität meistens anders aus.

Vom Gleichgewichte.

119. Gleiche an der Rolle hängende Gewichte halten einander im Gleichgewichte, weil, wenn z. B. das eine um 10 Fuss sinken soll, das andere um 10 Fuss steigen muss, mithin während der Bewegung dieser beiden Kräfte in ihren Richtungen, gleichzeitig stets gleiche Wirkungen, aber in entgegengesetztem Sinne entstehen.

Das Gleichgewicht wird auch dann ungestört bleiben, wenn man das steigende Gewicht, sobald es einen Fuss Weg zurück-

gelegt hat, mit einem andern von ganz gleicher Beschaf
verwechselt. Man ist auf diese Weise im Stande, durch 1
das 10 Fuss niedersinkt, je 10 Pfund 1 Fuss hoch, oder
5 Pfund 2 Fuss hoch u. s. f. zu heben.

120. Das Product einer Kraft in den Weg, den sie i
Richtung, im positiven oder negativen Sinne, zurücklegt, he
Bewegungsmoment (mechanisches Moment) oder a
Bewegungseffect.

Z. B. Ein Gewicht von 10 Pfund, das 20 Fuss niedersinkt oder steigt,
Bewegungsmoment 10.20 = 200. Dasselbe Gewicht 10 Fuss in hori
Richtung fortbewegt, entspricht (als schwerer Körper) gar keinem Bew
momente, weil es in der Richtung seiner Wirksamkeit, nämlich in der der S
weder gehoben noch gesenkt wurde.

121. Die Erfahrungssätze von Nr. 119 zeigen, dass ein G
dessen Bewegungsmoment gleich 10 (1 Pfund 10 Fuss hoc
hig ist, ein beliebiges anderes Gewicht so hoch zu hebe
das Product des letzteren in den von ihm zurückgelegte
ebenfalls gleich 10 wird. Wir werden dadurch zu dem Sc
berechtigt, dass überhaupt: gleiche Bewegungsmom
gleichen Wirkungen entsprechen und also, ein
entgegengesetzt, ein Ausdruck des Gleichgew
tes sind.

122. Wenn man das niedergehende Gewicht an der Rolle
irgend eine andere Kraft, etwa die Muskelkraft der Hand, e
so wird auch jetzt noch das steigende Gewicht um eben
Fuss gehoben, als die andere gleich grosse Kraft niedersinkt.
letztere Kraft pflegt man die Betriebskraft, das gehobe
wicht aber, oder jeden andern seine Stelle vertretenden
stand, die Last zu nennen. Die hervorgehende Wirkung,
wenn sie zu irgend einem nützlichen Zwecke dient, heisst A

Diesen Begriff von Arbeit allgemeiner aufgefasst, best
Arbeit der Betriebskraft in Erzielung eines ihrem eigenen
gungsmomente oder Bewegungseffecte gleichen Lastmom
oder Nutzeffectes.

Man schätzt den Wirkungswerth verschiedener Betriebskräfte n
Grösse ihrer Bewegungsmomente oder nach der Grösse der Arbeit, we
vollbringen können. Benutzt man z. B. einen niedersinkenden Körper
triebskraft, so ist sein Wirkungswerth gleich seinem Gewichte multip
die Höhe, um welche er sinken kann.

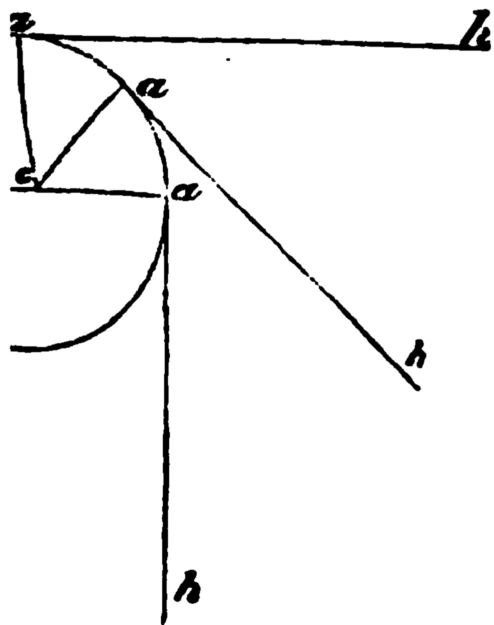
Die menschliche Muskelkraft besitzt das Eigenthümliche, sich bei
Uebung fast mit gleicher Leichtigkeit und mit gleichem Erfolge na
Richtung hin äussern zu können. Mag nun diese Kraftäusserung v
blossen Bewegung der Hände oder auch des ganzen Körpers begleit
so lehrt die Erfahrung, dass der Bewegungseffect gesunder Männer,
Sekunde Arbeitszeit berechnet, durchschnittlich einem Gewichte von
2,5 Fuss hoch, oder von 75 Pfund 1 Fuss hoch, gleich gesetzt werde
Dabei ist angenommen, dass dieser Bewegungseffect täglich, während
den sich von Sekunde zu Sekunde erneuern könne. Diese ganze Anzahl

ıltiplicirt mit dem Effecte einer Sekunde, bezeichnet den täglichen fect eines männlichen Arbeiters.

riebskraft der Pferde zeigt sich am wirksamsten in wagerechter s Zugkraft. Ihr Bewegungsmoment, bezogen auf Pferde von mitte und auf die Sekunde Arbeitszeit, ist einem Gewichte von 125 Pfund, 'uss hoch gehoben wird, oder der Zahl 500 zu vergleichen. Dieser ;o viel mal genommen, als die ganze tägliche Arbeitszeit von 8 Stunen zählt, wird gewöhnlich schlechthin eine Pferdekraft (täglicher t eines Pferdes) genannt.

Die Bedingung des Gleichgewichtes gleicher Kräfte an ist ganz unabhängig von der Richtung, worin diese irksam sind. Welche immerhin diese Richtungen seyn s wird Gleichgewicht stattfinden, sobald keine der bei- in ihrer Richtung einen Weg zurücklegen kann, ohne die ı nöthigen, in der dieser zugehörenden Richtung, jedoch gengesetztem Sinne, einen gleich grossen Weg zu be-.

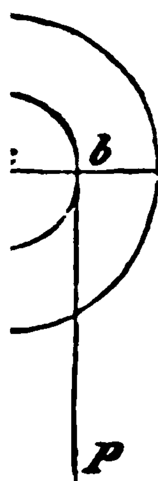
Fig. 8.



Um z. B. das Gewicht G an der Rolle aufzuziehen, wird es ganz gleiche Anstrengung erfordern, in welcher der verschiedenen Richtungen $a\ h$ die Hand wirken mag; oder der Faden $a\ h$ wird stets durch einen gleichen, dem Gewichte G entsprechenden Druck gespannt seyn. Dieses Experiment zeigt die Möglichkeit, einen gegebenen Druck nicht nur nach seiner Richtung, sondern nach jeder beliebigen Richtung mit unveränderter Stärke fortzupflanzen. Anwendung von Rolle und Seil, um Kräfte zu leiten und um ihre Richtung zu verändern.

Man gebe zweien Rollen von ungleichen Durchmessern einen gemeinschaftlichen Mittelpunct, wie in Fig. 9, und befestige sie so an einander, dass keine sich ohne die andere um den festen Mittelpunct herum bewegen kann. Von der einen hänge ein Gewicht Q, von der andern ein Gewicht P herab. Diese ungleichen Kräfte werden einander das Gleichgewicht halten, wenn ihr Grössen-Verhältniss das umgekehrte ist der Wege, die bei eintretender Bewegung, die eine, z. B. Q, im positiven, die andere, P, im negativen Sinne, eine jede in ihrer Richtung zurücklegen müssen; denn ı Falle sind ihre Bewegungsmomente gleich. Man sieht , dass diese Bedingung des Gleichgewichtes erfüllt ist, ide Kräfte sich verhalten umgekehrt wie die Peripherien, ekehrt wie die Halbmesser der Rollen.

9.



Es sey der Halbmesser $a\ c = q$, der Halbmesser $c\ b = p$, so kann setzen $Q : P = p : q$ oder auch $Q.\ q = P.\ p$ oder endlich $Q.\ 2\pi\ q = P.\ 2$ die letzte Gleichung bezeichnet die Gleichheit der Bewegungsmomente, die den ersten ergeben sich daraus als nothwendige Folgen.

Dieses Gleichgewichtsgesetz gilt übrigens für andere Kräfte mit dems Rechte wie für Gewichte, und ist unabhängig von den Richtungen ihrer V samkeit (123).

125. Der feste Punct, um welchen eine Rolle beweglicl heisst ihr Stützpunct. Wird derselbe durch eine feste, ge die Ebne der Rolle rechtwinklich durchschneidende und an Puncten auf Unterlagen ruhende Linie ersetzt, so nennt man (oder richtiger die Axe des kleinen Cylinders, welcher sie bi die Drehaxe. Der Punct, an welchem die Richtung einer den Umkreis der zugehörigen Rolle berührt, heisst der Angr punct dieser Kraft. Die beiden geraden Linien, $a\ c$ und $b\ c$ (Fi welche vom Stützpuncte nach den Angriffspuncten der Kräfte g gen werden können, und die, vermöge ihrer Eigenschaft als K halbmesser, auf den Richtungen der Kräfte winkelrecht st müssen, werden Hebelsarme genannt.

Das Product einer Kraft in ihren Hebelsarm heisst statisel Moment oder Moment der Ruhe.

Das ganze System der beiden einander das Gleichgewicht l tenden Kräfte heisst ein Hebel. Bilden beide Hebelsarme eine rade Linie und liegt der Stützpunct zwischen den Angriffspunc wie in Fig. 9, so entsteht der doppelarmige Hebel.

Bilden zwar beide Hebalsarme eine gerade Linie, aber Stützpunct liegt ausserhalb der Angriffspuncte a und b, wi Fig. 10, so entsteht der einarmige Hebel.

Fig. 10.

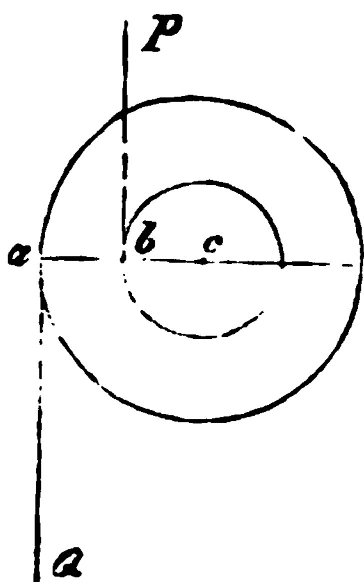
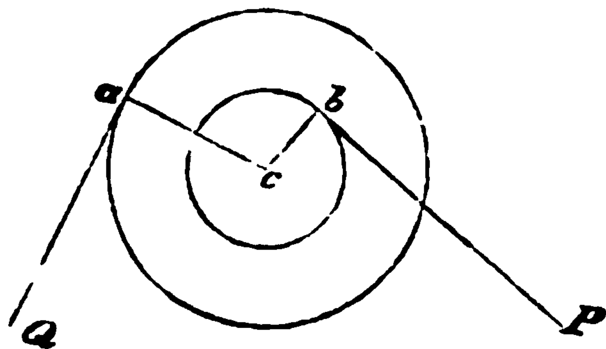


Fig. 11.



Bilden beide Hebelsarme einen Winkel wie $a\ c$ und $c\ b$ in Fig so entsteht der Winkelhebel.

126. Zwei Kräfte am Hebel müssen einander das Gleichgewicht halten, wenn eine oder die andere der folgenden von einander abhängigen Bedingungen eintritt:

) Wenn die Bewegungsmomente oder mechanischen Momente beider Kräfte gleich und entgegengesetzt sind.

) Wenn ihre statischen Momente gleich sind.

) Wenn die Kräfte sich verhalten, umgekehrt wie ihre Hebelsarme, oder umgekehrt wie die Räume, welche sie bei eintretender Bewegung beschreiben müssen.

Man sieht leicht ein, dass diese Gleichgewichts-Bedingungen nicht an die n der Rollen geknüpft sind, und daher überall eintreten können, wo Kräfte Drehung in entgegengesetztem Sinne und um denselben festen Punct zu bewerkstelligen streben. Da aber jeder Hebelsarm als ein Kreishalbmesser angen werden kann, so lässt sich auch jeder Hebel auf ein System concenter Rollen zurückführen.

Das Gesetz des Hebels bildet einen der wichtigsten und fruchtbarsten Lehre der Physik, nicht nur als Grundlage zur Erklärung einer grossen Menge rer Gleichgewichtsverhältnisse, sondern auch wegen der zahlreichen und st mannichfaltigen praktisch nützlichen Anwendungen, die man davon ht.

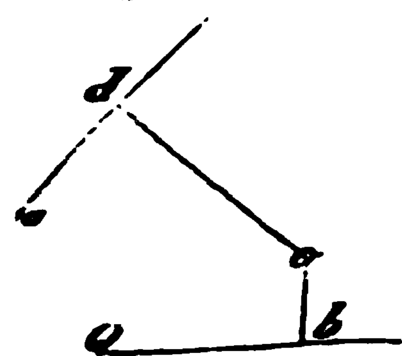
on der einfachen Hebe- und Brechstange bis zu den zusammengesetztesten :hinen gibt es kaum ein Werkzeug, das sich nicht als eine Anwendung des els darstellen liesse. Wo z. B. findet sich der Stützpunct, wo die Angriffscte der Kräfte beim Gebrauche des Messers, der Scheere, der Zange, des lüssels, des Ruders, des Schiebkarrens u. s. w.?

Mit dem Worte Maschinen bezeichnet man Vorrichtungen, die einestheils nen sollen, die Betriebskräfte fort zu leiten, und denselben eine zur Vollrung einer Arbeit möglichst nützliche Richtung zu geben, anderntheils aber h die Bestimmung haben, bald die Geschwindigkeit, bald die Stärke der Bebskraft auf eine zweckdienliche Weise zu verändern. — Das Bewegungsment (oder den Bewegungseffect) der Kraft durch Anwendung einer Mane zu vergrössern, ist unmöglich; es wird im Gegentheile gezeigt werden, das zum Vorschein kommende nützliche Lastmoment auch unter den günsten Umständen immer weniger beträgt, als man aus der Grösse der Bebskraft schliessen muss.

Maschinen, bei welchen nur ein einziger Stützpunct vorkommt, werden einhe Maschinen genannt. Dahin gehören: die Rolle, das Rad an der le (Haspel, Winde), als unmittelbare Anwendungen des Hebels.

Bei den zusammengesetzten Maschinen finden sich immer mehrere rstützungspuncte. Die meisten lassen sich als Verbindungen mehrerer Hebel chten, wie der Flaschenzug, der Kranich, der Pferdegöpel (Ross-t) und alles in einander greifende Räderwerk.

Der Gebrauch unserer Glieder, beim Fortbewegen, Tragen, Heben, Drücken, n u. s. w., liefert zahlreiche belehrende Beispiele von Anwendungen des ls.


Fig. 12.

Wenn ein beliebig gestalteter Körper an einem Puncte irgendwie gestützt ist, und an einer andern Stelle einen Druck erleidet, so zeigt das Gesetz des Hebels, welcher Widerstand an einer beliebig angenommenen dritten Stelle angebracht werden, und in welcher Richtung er wirken muss, um jenem Drucke das Gleichgewicht zu halten. Es sey z. B. o der Stützpunct, bei a wirke ein Druck P in der Richtung der Linie $a\ d$; bei b soll sich der Widerstand befinden. Man ziehe $o\ d$ winkelrecht auf $a\ d$; man verbinde $o\ b$ und ziehe $Q\ b$ win-

kelrecht auf $o\ b$. Ein Widerstand Q von Q nach b wirksam, wird das (
gewicht erhalten, wenn $Q = \frac{P.\ o\ d}{o\ b}$ (125 Winkelhebel).

Wir sind auf diese Weise im Stande, die Wirksamkeit einer Kraft, d auf einen gewissen Punct des gestützten Körpers äussert, nach einem l gen andern Puncte desselben zu verpflanzen. Die Grösse des Druckes, v an dieser andern Stelle zum Vorschein kommt, wird in manchen Fällen ducirte Kraft genannt. Eine gegebene Kraft an eine gewisse andere S reduciren, heisst daher nichts Anderes, als die Grösse ihres Einflusses a .andern Stelle durch Rechnung finden.

Durch Vermittlung des Hebels kann ein gegebener Druck in jeden noch so grossen Druck verwandelt werden. Da jedoch der Bedingung: heit der Bewegungsmomente, stets genügt werden muss, so folgt, dass wegung an der Wirkungsstelle in demselben Verhältnisse abnehmen m der Druck an dieser Stelle sich mehrt.

127. Zwei gleichlaufende Kräfte, deren Wirksamkeit na selben Seite hin gerichtet ist, äussern auf denjenigen Pu welchen, als Stützpunct betrachtet, sie sich im Gleichge halten würden, einen Druck, dessen Richtung der ihrigen e chend und dessen Grösse ihrer Summe gleich ist. Dieser Satz als einfache Folgerung aus dem Gesetze des Hebels.

Der gemeinschaftliche Wirkungspunct zw gleichgerichteten Kräfte wird ihr Schwerpunc' nannt.

Man findet den Schwerpunct zweier Kräfte, indem man ihre Angrif durch eine gerade Linie verbindet, und diese in zwei Stücke theilt, wel umgekehrt wie die Kräfte verhalten. Der Theilungspunct ist der Schw

128. Jede beliebige Anzahl gleichgerichteter Kräfte, als schwere Körper, was immerhin seine Gestalt sey, besitzt Schwerpunct, d. h. einen Punct, worin man sich gleichs Summe sämmtlicher Kräfte oder das ganze Gewicht des K vereinigt denken kann.

Der Druck schwerer Körper lässt sich daher immer so ansehen, als von einem einzigen Puncte, dem Schwerpuncte, aus. Berechnung des I den ein schwerer, an mehreren Puncten gestützter Körper auf jeden se terstützungspuncte ausübt, z. B. eines Balkens auf seine Unterlagen.

129. Ein in seinem Schwerpuncte gestützter Körper v in jeder Lage im Gleichgewichte.

Eine lothrechte, durch den Schwerpunct gehende gerad heisst die Richtungslinie der Schwere eines Körpers Schwerlinie.

Körper, welche weder im Schwerpunct selbst, noch Richtungslinie ihrer Schwere gestützt sind, können in keine im Gleichgewichte verharren.

Wenn man einen Körper an einem Faden aufhängt, so bei eingetretenem Ruhezustande, sein Schwerpunct in die ' gerung des Fadens fallen. Wird er daher nach einander a verschiedenen Puncten aufgehängt, so müssen die Verlän gen beider Lothe einander im Schwerpuncte durchschneid Lage des letzteren wird dadurch bestimmt.

lei solchen Körpern, deren Gestalt mathematisch bestimmbar, und deren a von einer überall gleich dichten Masse erfüllt ist, lässt sich der Schwer-t durch Construction und Rechnung finden. Zuweilen ist dieses Verfahren einfach; es lässt sich z. B. leicht beweisen, dass der Mittelpunct des Kreises, ugel und jeder regelmässigen Figur zugleich der Schwerpunct ist; dass chwerpunct von Prismen und Cylindern in ihrer halben Höhe, der des ks in dem dritten Theile seiner Höhe, der der Pyramide und des Kegels rten Theile ihrer Höhe liegt. Ferner ist leicht einzusehen, dass der Schwer-aller solchen Körper, die man sich durch Umdrehung einer Fläche um eine inie erzeugt vorstellen kann, in dieser Linie selbst liegen muss.

0. Die Lage des Schwerpunctes ist von wesentlichem Ein-auf die Fähigkeit eines Körpers, äusseren Einwirkungen, e ihn zu drehen oder umzuwerfen streben, einen Widerstand ;enzusetzen. Standfähigkeit (Stabilität).

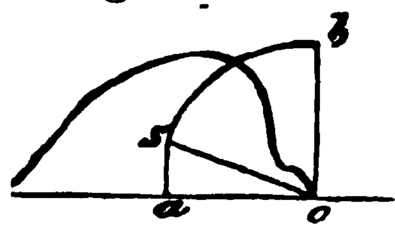
Körper kann nicht umfallen, so lange er in der Richtungslinie seines es unterstützt ist. Dass er fest stehe (Standfähigheit besitze), kann :r nur dann sagen, wenn er äusseren Einwirkungen nach jeder Richtung a Widerstand entgegensetzt.

er, welche nur im Schwerpuncte gestützt sind, verhalten sich gegen Eindrücke gleich trägen Massen; sie leisten gar keinen Widerstand. Prisma, eine Rolle, ein Cylinder, die auf einer festen, ihren Schwer-urchschneidenden Axe ruhen, können durch die geringsten Kräfte ge-nd dadurch in eine neue Gleichgewichtslage versetzt werden.

erhaupt können Körper, die nur in einem Puncte in der Richtungslinie ewichtes gestützt sind, keinen festen Stand behaupten. Befindet sich der unct unter dem Schwerpuncte, so werden sie durch die geringste Kraft lreht oder umgeworfen, wie eine Kugel oder ein Rad auf ebner Fläche. :r Geschicklichkeit, den Stützpunct in der Richtungslinie zu erhalten, be-le Kunst des Balancirens. Befindet sich der Stützpunct eines Körpers über :hwerpuncte, so kann er zwar nicht umgeworfen werden, sondern zeigt iarrliches Streben, in die ursprüngliche Gleichgewichtslage zurückzu-, so oft er daraus entfernt worden ist; gleichwohl sind sehr geringe ausreichend, um eine Verrückung zu bewirken. Pendel, Wage und über-ängende Körper.

1. Alle Körper, welche wenigstens auf drei Puncten, die ein :k bilden, d. i. auf einer Fläche ruhen, und deren Schwerlinie in diese Fläche fällt, stehen fest. Denn um einen solchen Körper umwerfen zu können, muss er um eine der Gränzlinien seiner Grundfläche, z. B. um die Kante 0 (Fig. 13) gedreht, folglich der Schwerpunct um die 0 *b* — *a s* gehoben werden.

Fig. 13.



nter zwei Körpern von gleichem Gewichte wird derjenige am ten stehen, dessen Schwerpunct am meisten gehoben wer-uss, um ihn in die Lage senkrecht über die Drehkante zu n; also derjenige, dessen Schwerpunct am tiefsten liegt und a Schwerlinie am weitesten von der Drehkante absteht.

s Product der Multiplikation des Gewichtes eines Körpers m Abstande (*a* 0 Fig. 13) seiner Schwerlinie von der Dre-kante wird das statische Moment der Standfähigkeit genannt. s statische Moment einer Kraft, welche den Körper um eine Kanten drehen soll, muss dem Momente seiner Standfäkig-

keit, bezogen auf diese Kante, gleich seyn. — Ein Körper k der Seite hin keinen Widerstand leisten, nach welcher da seiner Standfähigkeit Null ist.

Anwendungen auf den ungleich festen Stand der Körper je nach und Lage ihrer Grundfläche zu ihrer eignen Grösse und Gestalt. Z. B. oder vierseitige Säulen stehen auf einer ihrer Basen weniger fest, al ihrer Seitenflächen; abgestumpfte Pyramiden oder Kegel stehen fest grossen, als auf der kleinen Basis. Mauern mit Strebepfeilern. Schie — Hochbeladene Frachtwagen sind dem Umwerfen leichter ausg wenn sie eben so schwer mit dichteren Stoffen beladen sind.

Die physische Kraft des menschlichen Körpers eignet sich besser gen, als zum Ziehen; die der vierfüssigen Thiere besser zum Ziehe Tragen.

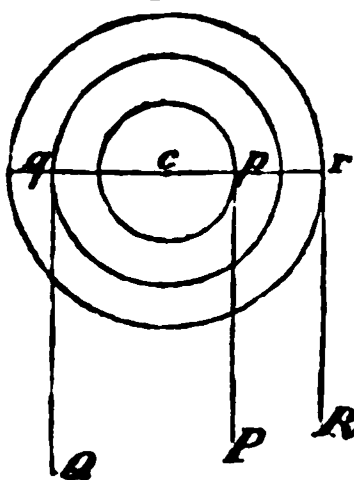
Die Bewegung unseres Körpers ist bei jedem Schritte von einem darauf folgenden Senken des Schwerpunctes begleitet. Wir erleichte Gehen, indem wir durch Vorneigen des Oberkörpers den Schwerp nach Vorne bringen, und indem wir durch geeignetes Biegen und St Kniee das Heben und Senken des Schwerpunctes vermindern. — Auf steigen der Berge. — Mehr oder weniger fester Stand des menschlich je nach der Stellung der Füsse.

132. Das Gesetz des Hebels lässt sich auf drei, vier Anzahl Kräfte, deren Bewegungen von einander abhän ausdehnen. Es kann in dieser allgemeineren Form folgend ausgedrückt werden:

Mehrere Kräfte, welche ein bewegliches Sys eine feste Axe zu drehen streben, werden eina Gleichgewichte halten, wenn die Summe ihrer gungsmomente gleich Null ist, d. h. wenn die Bew im positiven Sinne diejenigen im negativen Sinne aufheb

Man denke sich z. B. drei zusammenhängende Rollen (Fig. 14) v

Fig. 14.



chen Durchmessern, die sich um die gemeinschaft bewegen. Um jede Rolle ist ein Faden geschlung Gewicht angehängt, in der Weise, dass, wenn w Umdrehung P und R niedergehen, das dritte Gewi gewunden wird. Es muss nun Gleichgewicht wenn R multiplicirt mit dem Wege, den es z. B. für Umdrehung gehoben wird, gleich ist der Summe ducte der beiden andern Kräfte in die von ihnen legten Wege. Denn unter dieser Bedingung sind tretenen Wirkungen gleich und entgegengesetzt. aber auch Gleichgewicht statt, wenn die statische zusammen addirt gleich Null sind, oder wenn .

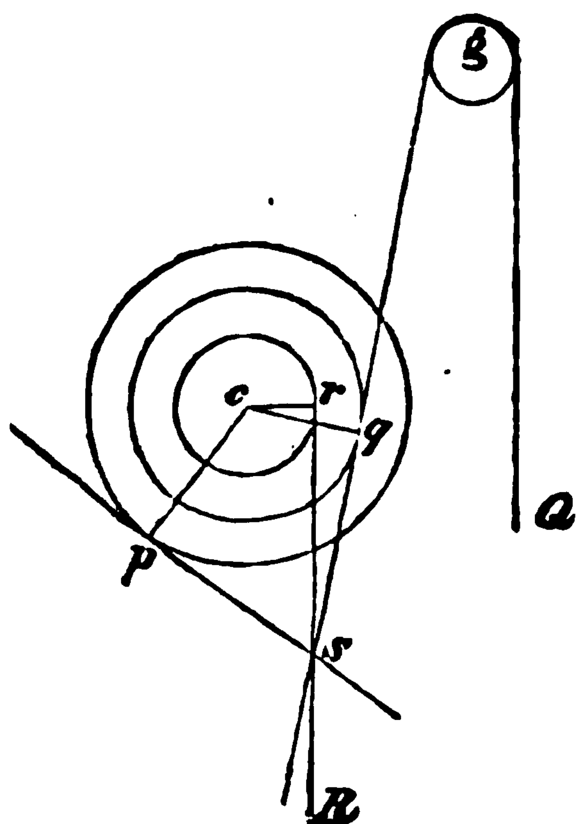
$$Q.\,qc = P.\,pc + R.\,rc.$$

Legt man dem einen oder andern Gewichte etwas zu, so ist kein wicht mehr möglich, vielmehr werden dann alle Theile des beweglich eine beschleunigte Bewegung, theils sinkend, theils steigend, anne hierdurch eingetretene Wirkung ist jedoch immer von der Art, dass eine neue Kraft im entgegengesetzten Sinne wirksam, deren Beweg (Product der Kraft in den in ihrer Richtung zurückgelegten Weg früheren Uebergewichtes gleich kommt, vollständig wieder aufgehob kann. Dieses Verhalten lässt sich mittelst der Fallmaschine leicht an machen, wenn man die einfache Rolle mit einer zusammengesetzten v

133. Das verallgemeinerte Hebelsgesetz bleibt wahr, g

g von der Richtung, in welcher jede der Kräfte (z. B. an zugehörigen Rolle) wirksam ist, denn diese Richtung hat influss auf die während einer Umdrehung abgewickelten gen, d. h. auf die Grösse der zurückgelegten Wege, und n man solche Kräfte, welche sich im positiven Sinne ihrer bewegen, mit fallenden Gewichten, solche die sich im ne- Sinne ihrer Richtung bewegen mit steigenden Gewichten en.

Fig. 15.



Unter den zahllosen Richtungen, nach welchen sich drei Kräfte P, Q und R um den festen Punct c (Fig. 15) im Gleichgewicht halten können, unter der Bedingung, dass ihre Bewegungsmomente einander zu Null ergänzen, oder dass die Effecte im positiven Sinne diejenigen im negativen aufheben, wollen wir insbesondere den Fall hervorheben, dass die verlängerten Richtungen der drei Kräfte in einem Puncte s zusammentreffen. Man kann sich in diesem Falle sämmtliche Kräfte in den Durchschnittspunkt versetzt denken, und man sieht sogleich ein, dass nunmehr die Bedingung des Gleichgewichtes erfordert, entweder, dass die in s vereinigten Kräfte nach keiner Richtung einen Druck ausüben oder dass der gemeinschaftliche Druck den sie hervorbringen, in der Richtung von s nach c statt r durch den Widerstand der Axe aufgehoben wird. Tritt das erstere en sich die Kräfte unter einander im Gleichgewicht; macht man z. B. acte dreier Schnüren und lässt an jeder derselben eine der Kräfte, geer früheren Richtung, wirken, so dauert das Gleichgewicht fort, selbst nung des festen Punctes c.

ich drei oder mehrere bewegende Kräfte nicht schon in einem Puncte der festen Axe im Gleichgewichte, so darf man den Widerstand der mer als eine Kraft betrachten, die während der Bewegung der andern r jeden in ihrer Richtung, selbst keinen Weg zurücklegt, deren Bement also Null ist.

fliesst folgender, ganz allgemein geltende Lehrsatz:

oder mehr Kräfte, deren Wirksamkeit auf einen selben Punct gerichtet ist, oder von diesem ausgeht, halten einander im Gleichgewichte, e Producte dieser Kräfte, je in die Wege, welche eintretender Bewegung gleichzeitig, jede in chtung zurücklegen müssten oder auch wirklich gen, einander zu Null ergänzen.

veren Körpern, die sich um eine feste Axe im Gleichgewicht halten, len Mittelpunct der Erde als denjenigen Punct betrachten, gegen welre gemeinschaftliche Wirksamkeit richtet, oder von welchem sie

134. Wenn die Wirkungen zweier Kräfte, *P* und *Q*, (Fig. 1[illegible]

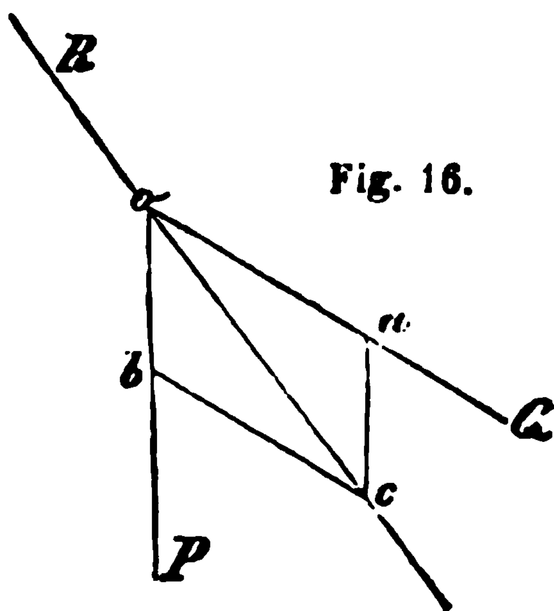


Fig. 16.

gegen denselben Punct 0 gerichtet si[illegible] so nennt man die Richtung ihrer geme[illegible] schaftlichen Wirksamkeit, welche 0[illegible] seyn mag, die mittlere Richtung; [illegible] Druck, welchen beide Kräfte, die S[illegible] tenkräfte, gemeinschaftlich in [illegible] mittleren Richtung ausüben, heisst [illegible] mittlere oder resultirende Kr[illegible] Eine gleich grosse Kraft, *R* im ent[illegible] gengesetzten Sinne hält beiden Kr[illegible] ten das Gleichgewicht. Jede der [illegible] Kräfte, *P*, *Q* und *R*, die einander [illegible] Gleichgewicht halten, kann übrigens als eine, der Resultirende [illegible] beiden andern gleiche und entgegengesetzte angesehen werd[illegible]

Je zwei dieser Kräfte, z. B. *P* und *Q*., verhalten sich zu der dritt[illegible] wie die Seiten *o b* und *o a* zu der Diagonale *o c* eines Paralle[illegible] gramms, welches auf den Richtungen der drei Kräfte, von eine[illegible] willkührlichen Puncte *o* aus, der in der Richtung der Mittleren g[illegible] nommen ist, gebildet werden kann. Daher Gesetz vom Para[illegible] lelogramm der Kräfte.

Dieses Gesetz ist im Wesentlichen nur eine veränderte Ausdrucksweise [illegible] Vorhergehenden; es lässt sich, indem man von dem Grundsatze ausgeht, dass [illegible] Bewegungsmomente der Kräfte *P* und *Q*, bezogen auf einen beliebigen Punct [illegible] der Richtung der Kraft *R*, als Drehaxe, einander gleich sein müssen, durch [illegible] fache geometrische Betrachtungen ableiten.

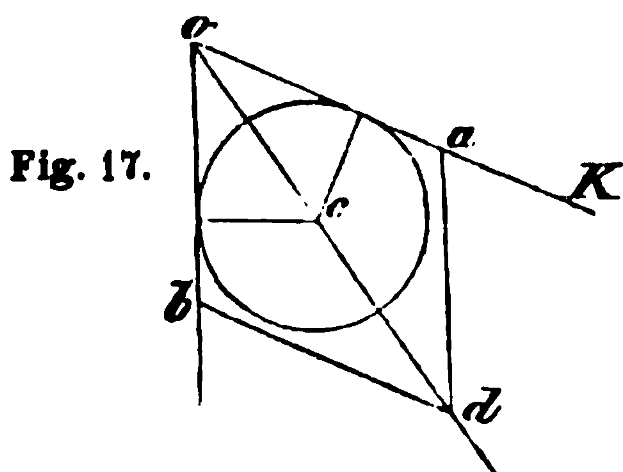
Die Richtigkeit desselben ergibt sich aber auch unmittelbar aus einem [illegible] dern Grundsatze, dessen Annahme durch alles gerechtfertigt wird, was wir [illegible] her kennen gelernt haben, und ohne dessen Richtigkeit auch das Gesetz [illegible] Trägheit falsch sein müsste (105). Er heisst: Der Erfolg der gleichzeiti[illegible] Einwirkung mehrerer Kräfte auf denselben Punct (etwa den Schw[illegible] punct eines Körpers) muss immer von der Art sein, als hätten die [illegible] Kräfte nacheinander jede eine gleiche Zeit eingewirkt. — Der P[illegible] werde z. B. durch die Kraft *P* allein in der Zeiteinheit von 0 nach *b* getrieb[illegible] die Kraft *Q* wird ihn hierauf, verhältnissmässig zu ihrer Grösse, in dersel[illegible] Zeit von *b* nach *c* versetzen. Sollen beide Wirkungen wieder aufgehoben w[illegible] den, so mnss noch eine dritte Kraft hinzutreten, die ihn in der Zeiteinheit wi[illegible] von *c* nach 0 versetzt.

Als Belege für die allgemeine Geltung des so eben erwähnten Grundsa[illegible] mögen noch folgende Beispiele dienen. Fallende Körper senken sich bek[illegible] lich in der ersten Sekunde um 15 Fuss; eine Büchsenkugel, mit noch so gro[illegible] Geschwindigkeit wagerecht fortgetrieben, wird gleichwohl eine Sekunde nach[illegible] sie den Lauf verlassen hat, um 15 Fuss gesunken sein. — Wir finden, dass man [illegible] auf dem Verdecke eines sanft fortgleitenden Schiffes, nach jeder Richtung, g[illegible] so wie auf einer ruhenden Fläche bewegen kann, und doch nehmen wir d[illegible] an allen Bewegungen des Schiffes Theil. — Die Umwälzung der Erde um [illegible] Axe, oder um die Sonne, zeigt keinen Einfluss auf unsere Bewegungen an [illegible] Erdoberfläche.

135. Das Gesetz des Parallelogramms der Kräfte zeigt, wie m[illegible] für zwei und so fort auch für mehrere gemeinschaftlich wirke[illegible] Kräfte einen mittleren Ausdruck finden, oder mehrere Kräfte zu

ızigen zusammensetzen kann. Zusammensetzung äfte.

Fig. 17.

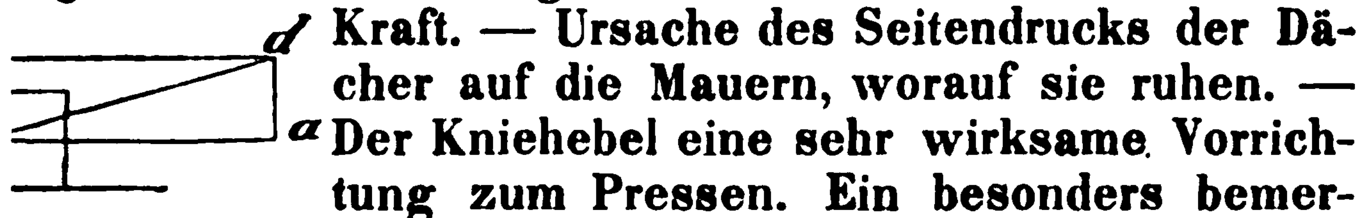


ːl: Es ist der Druck zu bestimmen, den zwei gleiche aber nicht gleich-Kräfte $K = o\,a$ und $L = o\,b$ auf die Axe einer Rolle ausüben (Fig. 17). hte Druck ist *o d*. Die Zeichnung gibt genügende Auskunft über das

Umgekehrt lässt sich eine jede Kraft als die resultirende ındern betrachten oder in zwei Seitenkräfte zerlegen. Zerder Kräfte. Ist die Richtung dieser Seitenkräfte schon ı, so zeigt das Gesetz des Parallelogramms, wie man die lerselben findet.

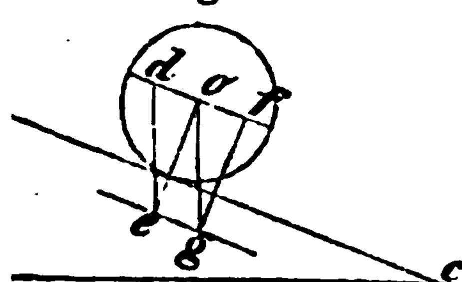
Beispiel: Erklärung der bekannten Thatsache, dass sich wagerechter Richtung nicht gerade spannen lassen. wandlung der schief gerichteten Zugkraft *o d* (Fig. 18) in eine wagerechte und in eine senkrechte Kraft. — Ursache des Seitendrucks der Dächer auf die Mauern, worauf sie ruhen. — Der Kniehebel eine sehr wirksame Vorrichtung zum Pressen. Ein besonders bemerthes Beispiel der Anwendung des vorgetragenen Gesetzes chiefe Ebne.

Fig. 18.



Schiefe Ebne wird eine ebne Fläche genannt, die gegen erechte Erdoberfläche geneigt ist. Man findet den Neigungsbeider Ebnen, indem man von einem Puncte *c* ihrer Durchschnittslinie aus eine winkelrechte Linie *c a* längs der schiefen und eine winkelrechte Linie *c b* längs der wagerechten Ebne zieht. Das Loth *a b* von einem willkührlich angenommenen Puncte *a* der Linie *c a* auf *c b* fällt, heisst Höhe, die Linie *c a* Länge die Linie *c b* inie (Basis) der schiefen Ebne, das Verhältniss der Höhe ge, $\frac{a\,b}{a\,c}$, nennt man die Steigung einer schiefen Ebne.

Fig. 19.



ht bewegliche schwere Körper, wie Kugeln, Walzen u. s. w. der schiefen Ebne entlang zu fallen, wiewohl nicht mit

der ganzen der Schwere entsprechenden Beschleunigung. Sie w
den gleichsam durch eine im Verhältnisse der Höhe zur Länge
schiefen Ebne verringerten (der sogenannten relativen) Schw
getrieben.

Denn denkt man sich z. B. die Schwere der Kugel 0 (Fig. 19) durch
Linie 0 *g* vorgestellt, so zerfällt dieselbe in einen Druck 0 *e*, der durch
Festigkeit der Bahn aufgehoben wird, und in die relative Schwere 0 *f*, gl
laufend mit *a c*, welcher keine andere Kraft entgegensteht. Es verhält
aber 0 *f* : 0 *g* wie die Höhe *a b* zur Länge *a c* der schiefen Ebne. Ein Kör
der, ohne auf Hindernisse zu treffen, einer beliebig geneigten Bahn *a c* h
gefallen ist, hat dieselbe Geschwindigkeit erreicht, als wäre er durch die
a c lothrecht gefallen; denn die Wirkung (die erlangte Geschwindigkeit)
immer der Ursache (hier die Schwere des Körpers, welche in ihrer Richt
den Weg *a c* zurückgelegt hat) gleich seyn. Aus dem Falle auf der sch
Ebne hat Galileo die Gesetze des freien Falls abgeleitet.

Um einem Körper, z. B. einer Kugel, auf der schiefen Ebne
Gleichgewicht zu halten, ist eine Kraft erforderlich, von der Grö
dass sie, was übrigens ihre Richtung sey, sich mit dem Gewic
des Körpers zu einem gemeinschaftlichen Drucke, winkelrecht
die schiefe Ebne zusammensetzt.

Ist z. B. die Richtung dieser Kraft *d o* der Linie *a c* gleichlaufend, so
hält sich die Grösse derselben zum Gewichte des Körpers wie die Höhe
Länge der schiefen Ebne. Der dieser Kraft gleiche Widerstand des Körp
heisst sein relatives Gewicht.

Steigende Strassen liefern Beispiele von durch schiefe Ebn
bewirkten Widerständen, weil die Last ohne nützlichen Zwe
gehoben werden muss. Dieser Widerstand verhält sich wie
Steigung.

Die Laufbrücke und Treppe sind Beispiele der Anwendung
schiefen Ebne als Maschine.

Auch der Keil und die Schraube sind Formen der schiefen E
Schraube ohne Ende. Mikrometerschraube. Schraubenpresse.

Vom Reibungswiderstande.

138. Die Oberflächen der dichtesten und glättesten Körper
ter dem Mikroscope gesehen, erscheinen bald mehr, bald we
uneben. Liegen zwei Körper auf einander, so greifen diese
ebenheiten in einander ein, ähnlich wie die rauhen Oberfläc
zweier Feilen. Dessenungeachtet zeigt sich, wenn ein abgegl
ter Körper über die glatte Oberfläche eines andern gleitet, nur
geringe, oft kaum bemerkbare wechselseitige Abnutzung (
stossen der Unebenheiten). Die gleitende Fortbewegung muss
her von einem fortdauernden Heben der Unebenheiten der e
Fläche über diejenigen der andern begleitet seyn. Mit der Bod
fläche eines festen Körpers werden alle Theile seiner Masse
hoben, und dadurch bildet sich ein Widerstand von ganz ähnli
Art wie beim Ersteigen einer schiefen Ebne. Er wird Reibun

tand genannt, oder auch Widerstand der gleitenden
g.

Für den Reibungswiderstand gelten die folgenden Erfah-
etze, durch welche die Vergleichung desselben mit dem
ıde während des Ersteigens einer schiefen Ebne vollkom-
chtfertigt wird:

Reibungswiderstand ist proportional dem Drucke, welchen
gleitende Körper auf seine Unterlage ausübt;
t unabhängig von der Grösse der reibenden Flächen;
t unabhängig von der Geschwindigkeit der Bewegung;
chen verschiedenen Körperflächen ist er ungleich gross,
aber bei allen durch Dazwischenbringen feiner, weicher
e, insbesondere von Fetten, indem diese die Unebenhei-
usgleichen, sehr bedeutend vermindert werden.

chaffenheit (der Grad der Glätte) der über einander gleitenden Flä-
gt gleichsam den Grad der Steigung auf der hypothetisch angenom-
efen Ebne, Die Last, welche gehoben werden soll, bietet einen dieser
ıd ihrem eignen Gewichte proportionalen Widerstand (relatives Ge-
. Eine demselben gleiche und entgegengesetzte Kraft hält der Rei-
leichgewicht. Der gleitende Körper muss sich daher von jetzt an
ige Masse verhalten, z. B. unter dem Einflusse einer neu hinzutre-
ft eine beschleunigte Bewegung annehmen (104).

Ein Bruch, welcher das Verhältniss der zur Ueberwindung
ung erforderlichen Kraft zum Gewicht (Druck) des glei-
örpers ausdrückt, wird der Reibungscoefficient

det z. B., dass um einen Schlitten, der mit Eisen beschlagen ist und
-Schienen gleitet, auf welche er einen Druck von 1000 Pfund aus-
chförmiger Bewegung zu erhalten, eine Kraft von 440 Pfund nöthig ist.

14 ist daher der Coefficient für die gleitende Reibung von Eisen auf

e Zahl mit der Last multiplicirt, die bewegt werden soll, gibt für
chen Fall die Grösse des Reibungswiderstandes. — Sind die über
leitenden Flächen gut abgeglättet, und schmiert man sie vor der Be-
ichlich mit Fett (Talg, Schweinefett, Knochenöl eignen sich dazu am
ı vermindert sich der Reibungscoefficient auf 0,08 — 0,05, und zwar
glatten Flächen ohne Unterschied. Zur Fortbewegung obiger 1000
le also in diesem Falle nur 50—80 Pfund Kraft erfordert werden.

Ein Körper, den man auf einer glatten Fläche fortzuschie-
t, würde sich um seine vordere Kante drehen, wenn nicht
ndfähigheit (130) grösser wäre, als sein Reibungswider-
enn nicht bei der Drehung sein Schwerpunct mehr geho-
len müsste, als es bei dem Fortgleiten der Fall ist.

und Walzen sollten ihre Unterlagen, zu Folge bekannter
aften des Kreises, nur an einem Puncte, oder eigentlich
geraden Linie berühren; wegen der niemals fehlenden
eiten ist dies aber nicht der Fall, sie liegen immer auf ei-
en Fläche und besitzen daher auch eine gewisse Stand-

fähigkeit. Der hieraus entspringende Widerstand während der U drehung wird wälzende Reibung genannt.

Räder, welche um ihre Axe leicht beweglich sind, nehmen, glatten Flächen fortgestossen, stets eine wälzende Bewegung Es folgt hieraus, dass der Widerstand ihrer wälzenden Rei geringer ist als der der gleitenden. Vergleichende Versuche h gelehrt, dass erstere gewöhnlich nur $1/_{10}$ — $1/_{20}$ der letzteren macht. Die Grösse derselben ist übrigens direkt dem Drucke umgekehrt dem Durchmesser der Walze proportional. Vermi rung der Bewegungshindernisse durch Verwandlung der gle den in die wälzende Reibung.

142. Bei allen Bewegungen, wobei die Oberflächen vers dener Körper dauernd über einander gleiten oder wälzen, f man die Reibung als einen Widerstand, dem zur Erhaltung Gleichgewichtes eine bewegende Kraft entgegengesetzt we muss. Der Weg, den die sich reibenden Puncte zurücklegen, m plicirt mit der Grösse des Widerstandes selbst, wird das R bungsmoment genannt. Zur Erhaltung einer gleichförmigen wegung muss ein derselben gleiches Moment der bewegen Kraft angewendet werden.

Z. B. die wälzende Reibung der Räder unserer Fuhrwerke legt dense Weg zurück, wie ein Punct der Radperipherie. Eben so gross ist der Weg Zugkraft. Zur Wältigung des Widerstandes an der Strasse muss also stet demselben gleicher Theil der Zugkraft aufgewendet werden.

An den Axen der Räder findet gleitende (drehende) Reibung statt, d Grösse vom Drucke auf die Axe abhängt; sie legt für jede Umdrehung des R einen Weg zurück, welcher dem Umkreise des Zapfens gleich ist. Das zur tigung des Widerstandes an der Axe nöthige mechanische Moment der Kra daher um so geringer, je kleiner der Durchmesser des Radzapfens gegen des Rades ist.

Bei den Fuhrwerken kommt auf ebner und horizontaler Strasse kein derer Widerstand vor, als der der Reibung. Durch dieselbe Zugkraft kann d eine so grössere Last bewegt werden, je geringer die Reibungshindernisse

Z. B. ein Pferd, welches täglich 125 Pfund Last 4,8 Meilen (eine Mei 25,000 R. F.) weit tragen kann, vermag auf dieselbe Entfernung hin sie zuziehen:

Auf einer hölzernen Schleife	. . . .	200
Auf derselben Schleife, wenn sie mit Eisen beschlagen ist	. . .	300
Auf derselben Schleife und auf guter Schneebahn	. . . . . .	1200
Auf Rädern mit eisernen Axen, auf Landwegen	. . . .	900
„ „ „ „ „	auf gut unterhaltenen Kunststrassen	2500
„ „ „ „ „	auf Eisenbahnen	30000

Aus dieser Vergleichung erklärt es sich leicht, warum Pferde, welche der gewöhnlichen Landstrasse ihre Zuglast mässigen Anhöhen ohne sehr deutende Vermehrung der Anstrengung hinaufzuschaffen vermögen, dies einer in gleichem Verhältnisse steigenden Eisenbahn nicht mehr zu thu Stande sind.

143. Die Reibung ist die Ursache des Feststehens (des Wi standes gegen Verschiebung) der Körper auf ihren Unterla

irper, dessen Reibungswiderstand mit einer andern Kraft im gewichte steht, hat in der Richtung derselben das Vermögen stehen verloren.

Ausgleiten auf glattem Boden ist die Folge zu sehr verringerter Reidernisse. — Auf das Feststehen durch Reibung gründet sich die Wirkthierischer Kräfte so wie des Dampfes, beim Zuge. Die Zugkraft der ann daher in manchen Fällen durch das Gewicht eines Reiters auf cke vermehrt werden; sie nimmt ab beim Ersteigen von Anhöhen. — raft eines Dampfwagens kann nie grösser seyn als der Widerstand der n Reibung seiner Treibräder; letzterer beträgt $^{44}/_{100}$ vom Drucke, wel-Treibräder auf die Eisenbahn ausüben. Der Widerstand der wälzenden les gesammten Wagenzuges beträgt aber nur $^1/_{200}$ vom Gewicht desür je 100 Pfund Druck der Treibräder kann daher ein Gewicht bis zu) Pfund fortgezogen werden. Bei einer grösseren Ladung würden die Dampfwagens sich umdrehen, ohne die Stelle zu ändern; sie würden er nicht mehr rollen. Ohne Vermehrung der Ladung vergrössert sich it beim Erklimmen von Anhöhen. Beträgt z. B. die Steigung $^1/_{200}$, so Last um $^1/_{200}$ vom Gewichte der Ladung zu (134), d. h. sie verdopdie gleitende Reibung des Dampfwagens muss dann auch zu der dopisse berechnet seyn.

Von den Trägheitsmomenten.

Die verschiedenen Puncte eines festen, um eine feste Axe den Körpers vollenden sämmtlich in gleicher Zeit eine gleiche Umdrehungen. Man sagt: sie besitzen gleiche Umdre-oder Winkel-Geschwindigkeit.

ch grosse träge Massen in ungleichen Abständen von der bedürfen, um gleiche Winkelgeschwindigkeiten anzu-, ungleicher bewegender Kräfte (107. 2), welche sich verirekt wie die Abstände.

ertausche die einfache Rolle der Fallmaschine mit zwei zusammena Rollen, deren Halbmesser sind wie 1 : 2. Jeder Punct am Umkreise en Rolle bewegt sich mit der doppelten Geschwindigkeit eines Punctes n; werden um beide gleich grosse träge Massen vertheilt, so bedarf an der grossen hängende Masse noch einmal so viel bewegende die andere, damit beide einerlei Winkelgeschwindigkeit annehmen - Will man das Uebergewicht (als bewegende Kraft), welches zur Beer an der grossen Rolle hängenden Masse dienen soll, nicht an dem der grossen, sondern an dem der kleinen Rolle wirken lassen, so das Vierfache anwenden, weil der Druck 4 am Hebelsarme 1 nur ei-. 2 am Hebelsarme 2 erzeugen kann. Um also einer trägen Masse am e 2 dieselbe Umdrehungsgeschwindigkeit beizubringen, als ob sie ebelsarme 1 befände, muss an diesem letzteren eine vierfache bewe-ft in Wirksamkeit treten; oder umgekehrt, wenn einer gegebenen Masse gegebenes Uebergewicht eine gewisse Umdrehungsgeschwindigkeit erlen kann, so wird dasselbe Uebergewicht, bei doppelter Entfernung , nur dem vierten Theile derselben eine gleiche Umdrehungsgeschwinle vorher beizubringen vermögen. — Der aus diesem Beispiele gehluss lässt sich allgemein so ausdrücken:

Zwei träge Massen in ungleichen Abständen von der Drehen jede für sich betrachtet, unter der Einwirkung einer elben und auch immer an demselben Hebelsarme thätigen

Kraft, in gleicher Bewegungszeit dieselbe Umdrehungsg digkeit annimmt, verhalten sich umgekehrt wie die Quadı Abstände. Wenn daher jede dieser Massen mit dem Quadr Abstandes von der Drehaxe multiplicirt wird, so erhält ma Producte.

Jeder solche Zahlenausdruck heisst das Trägheits der entsprechenden Masse. Der vorstehende Lehrsatz li daher jetzt kürzer auf folgende Art fassen:

Massen, deren Trägheitsmomente gleich sind. fen für gleiche Umdrehungsgeschwindigkeiten g statischer Momente ihrer bewegenden Kräfte.

Beispiel. Um den beiden auf dem Träger der Fallmaschine stehend bei unbelasteten Tellern eine Beschleunigung (109) von 2 Zoll zu musste auf den Teller der kleinen Rolle ein Uebergewicht von 6,12 G werden. Als man hierauf auf beiden Tellern der kleinen Rolle noch träger Masse nebst 2 Grm. Uebergewicht, überhaupt also 362 Grm. M theilte, so blieb die Beschleunigung der Bewegung wie vorher, weil von der Beschleunigung eines freifallenden Körpers nämlich von 3 gerade 2 Zoll ausmacht. Angenommen, der Halbmesser der kleinen 3 Zoll, so beträgt das Trägheitsmoment der anhängenden trägen Masse die Bewegung wird nun ganz ungeändert bleiben, wenn man die 360 G nimmt, und dafür 90 Grm. träger Masse um die grosse Rolle vertl $90 . 6 . 6 = 360 . 3 . 3$.

Eine Masse, welche in einer gewissen Entfernung von der Drehaxe Einfluss äussert, wie eine andere in einer andern Entfernung, nennt ma dem letzteren an den ersteren Punct reducirte Masse. 90 Grm. a arme 6″ ist die reducirte Masse von 360 Grm. am Hebelsarme 3″. – gegebene Masse an einen beliebigen andern Punct zu reduciren, wird heitsmoment durch das Quadrat der Entfernung dieses andern Puncte Axe dividirt.

Die Theile eines um eine feste Axe beweglichen Körpers, besitze ihren Abständen sehr ungleiche Trägheitsmomente. Durch Reduction an einen beliebigen Punct lässt sich eine Masse bestimmen, welche Puncte denselben Einfluss äussert, wie alle Theile des Körpers zusamm men, jeder an seinem Orte. Es ist vorher erwähnt worden, dass ein Umkreise der kleinen Rolle durch 6,12 Grm. Uebergewicht eine Besch erhielt, die $\frac{1}{181}$ von der Schwere, nämlich 2 Zoll betrug. Diese Wi ganz gleich derjenigen, welche dasselbe Uebergewicht auf eine M $6{,}12 . 181 = 1108$ Grm., die um die kleine Rolle vertheilt sind, ausübe 1108 Grm. ist daher die an den Umkreis der kleinen Rolle reduci sämmtlicher Theile des beweglichen Systems.

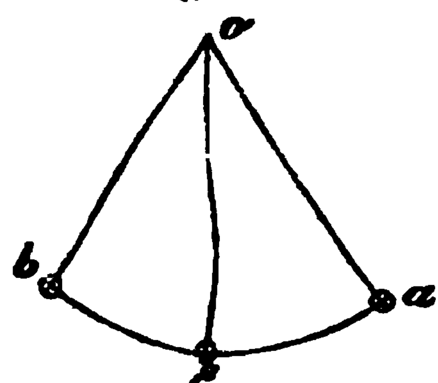
Durch die Kenntniss der Trägheitsmomente ist man im Stande, Masse eines um eine feste Axe drehbaren Körpers, z. B. einer Maschi betrachten, als befände sie sich in einem einzigen Puncte concentrirt. winnt dadurch ein einfaches Mittel, die Kraft zu berechnen, welche dieser Masse eine gewisse Geschwindigkeit beizubringen, oder auch aus der bereits vorhandenen Umdrehungsgeschwindigkeit die gan gungsgrösse der rotirenden Masse abzuleiten. Anwendung auf das rad, als Sammler der Kraft und als Hülfsmittel, den Gang der Maschin förmig zu machen.

Vom Pendel.

146. Der Name **Pendel** darf im Allgemeinen einem jeden um (ein)en festen Punct oder um eine Drehaxe schwingenden (oscilli-(re)nden) Körper gegeben werden. Ein schwerer Körper von so ge-(ri)ngem Umfange, dass er mit einem materiellen Puncte verwechselt (w)erden kann, an einem sehr dünnen, fast gewichtslosen Faden (a)ufgehängt, wird insbesondere ein **einfaches Pendel** genannt.

147. Die Entfernung des schweren Punctes vom Aufhänge-(pu)ncte eines einfachen Pendels heisst seine **Länge**. Die Pendel-(sc)hwingungen bestehen aus zwei leicht zu unterscheidenden Thei-(le)n: einer beschleunigten und einer verzögerten Bewegung. Die (er)stere ist dem Falle, die letztere dem Steigen auf einer schiefen (Eb)ne von veränderlicher Neigung zu vergleichen. Beim ersten (T)heile wirkt die Schwere als abnehmend beschleunigende Kraft, (be)im zweiten Theile als zunehmend verzögernder Widerstand. — Das Pendel kommt an den beiden äussersten Gränzpuncten jeder Schwingung einen Augenblick zur Ruhe, und besitzt, so oft es die ursprüngliche Gleichgewichtslage durchschreitet, seine grösste Geschwindigkeit. — Der zwischen den beiden äussersten Gränzen der Bewegung eingeschlossene Bogen ab (Fig. 20) ist die **Schwingungsweite** (Amplitude); (d)er von der senkrechten Lage des einfachen Pendels und einer (s)einer äussersten Stellungen eingeschlossene Winkel sob oder os wird **Ausschlagswinkel** (Elongationswinkel) genannt.

Fig. 20.



148. Die Bewegungsgesetze des einfachen Pendels, als eines (un)ter dem Einflusse der Schwere oder einer ähnlichen gleichför-(m)ig fortwirkenden Kraft stehenden materiellen Punctes, lassen (sic)h, auf die Grundlage der bereits vorgetragenen Fallgesetze, (dur)ch Rechnung ableiten. Diese Rechnung, deren nähere Ent-(wic)klung in die Mechanik gehört, hat zu folgender sehr einfachen (For)mel geführt, die alle Erscheinungen der Pendelbewegungen (dar)stellt. Sie heisst:

$$t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

t bedeutet hier die Zeit einer Schwingung;
π das Verhältniss der Kreisperipherie zum Durchmesser;
l die Länge des Pendels;
g die Beschleunigung der Schwere.

Aus dieser Formel ergeben sich folgende, durch das Experi-(me)nt leicht zu bewährende Sätze:

(1) Die Schwingungen eines und desselben Pendels sind selbst bei ungleichen Weiten gleichdauernd (isochronisch). Dieses Ge-

setz bestätigt sich jedoch nur für sehr kleine Schwingungsweiten.

b) Bei Pendeln von ungleicher Länge verhalten sich die Schwingungszeiten wie die Quadratwurzeln aus den Pendellängen.

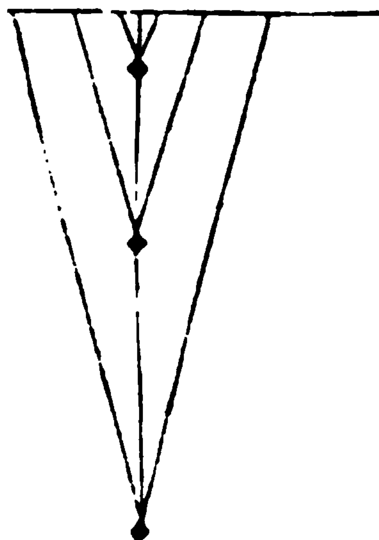


Fig. 1.

Werden z. B. drei Pendel, deren Längen sich verhalten wie 1 Fuss zu 4 Fuss zu 9 Fuss (Fig. 21) zu gleicher Zeit in Schwingung versetzt, so findet man, dass das kürzeste allemal 6 Schwingungen macht, während das zweite deren 3 und das längste nur 2 vollendet. Also das zweite Pendel braucht zu einer Schwingung noch einmal so viel Zeit, als das erste, das dritte dreimal so viel als das erste.

c) Die Beschaffenheit des Stoffes, woraus das Pendel verfertigt worden, ist ohne allen Einfluss auf die Schwingungsdauer.

Mag man z. B. zu der kleinen Linse des Pendels Gold, Silber, Blei, Marmor, Glas, Holz, Eis oder was immer für einen Stoff gewählt haben, — diese verschiedenen Pendel, wenn sie gleich lang sind, schwingen gleich. Daraus folgt, dass alle diese verschiedenen Körper der Anziehung der Schwere in ganz gleichem, nämlich der Grösse ihrer Masse proportionalem Verhältnisse unterworfen sind (111).

Aus der bekannten Schwingungszeit und Länge eines Pendels lässt sich die Beschleunigung der Schwere mit weit grösserer Schärfe ableiten, als aus den früher angegebenen Verfahrungsarten. Man findet z. B., dass ein Pendel von 9 Par. Fuss Länge in einer Minute 35 Schwingungen vollendet. Die Dauer einer Schwingung ist daher $\frac{60}{35} = \frac{12}{7}$ Sekunde. Also $\frac{12}{7} = 3{,}14\sqrt{\frac{9}{g}}$, woraus sich ergibt $g = \frac{9.7^2.3{,}14^2}{12^2} = 30{,}19$ Fuss.

Dieselbe Beobachtung führt zu der Länge des Sekundenpendels, wenn man setzt: $\frac{12}{7} : 1 = \sqrt{9} : \sqrt{x}$ (b). Hiernach ist die gesuchte Länge $\frac{9.49}{144} = \frac{49}{16} = 3^1/_{16}$ Fuss. Nimmt man nun einen kleinen, schweren Körper, eine Bleikugel, befestigt sie an einem dünnen Faden, misst an diesem von der Mitte der Kugel aus $3^1/_{16}$ Fuss ab, und klemmt den Faden an der abgemessenen Stelle ein, so erhält man ein Pendel, das in jeder Sekunde eine Schwingung macht.

149. Jedes Pendel, dessen Masse nicht mehr als ein materieller Punct betrachtet werden kann, heisst ein **zusammengesetztes Pendel**. Unter der Länge eines zusammengesetzten Pendels v

n diejenige eines einfachen von gleicher Schwingungs-

ınct des zusammengesetzten Pendels, dessen Entfernung Drehaxe seiner Länge gleich ist, wird sein Schwin- ınct (centrum oscillationis) genannt. Dieser Punct braucht gar nicht in der Masse des Pendels zu liegen.

ısammengesetztes Pendel verhält sich ganz so wie ein von gleicher Länge, und kann daher mit diesem ver- werden.

wingungspunct besitzt, wie aus der Beziehung des zusammenge- dels auf ein einfaches von gleicher Schwingungsdauer erhellt, die ;e Eigenschaft, dass, wenn die ganze träge Masse des Pendels an educirt wird, und wenn man sodann die bewegende Kraft des Pen- ch das im Schwerpuncte concentrirte Gewicht) an denselben Punct ngungspunct) reducirt, beide reducirten Werthe durch dieselbe Zahl t sind; oder mit andern Worten: die an den Schwingungspunct re- ;e Masse verhält sich wie eine schwere Masse von gleicher Grösse.

An einer sehr dünnen, beinahe gewichtslosen Pendelstange be- zwei Linsen, in der Entfernung 1 und 3 Fuss von der Axe. Jede wiegt ıs Trägheitsmoment der einen ist daher $5 . 1^2 = 5$; das der andern ı; beide zusammen, oder das Trägheitsmoment des ganzen Pendels, 50. Der unbekannte Abstand des Schwingungspunctes sey x, so ist en Punct reducirte träge Masse $\frac{50}{x^2}$. Der Schwerpunct des Pendels r *Mitte* zwischen beiden Linsen, d. h. 2 Fuss von der Axe entfernt. Das 'uncte vereinigte Gewicht ist 10 Pfund, sein statisches Moment gleich , folglich das an den Schwingungspunct reducirte Gewicht $\frac{20}{x}$. Nun :em Begriffe des Schwingungspunctes, dass $\frac{50}{x^2} = \frac{20}{x}$; daher $x = \frac{50}{20}$ ı.

dieser Aufgabe hervorgehende allgemeine Resultat sagt: dass die es zusammengesetzten Pendels gefunden werden kann, n sein Trägheitsmoment durch sein statisches Moment

ı denselben Werth durch den Versuch finden kann, erhellt aus dem Schwingungspunctes. Wenn man im Schwingungspuncte eines Pen- recht durch seine Längenrichtung eine Messerschneide anbringt, es und in diesem Puncte aufhängt, so wird der frühere Aufhänge- Schwingungspuncte; d. h. das Pendel zeigt in beiden Lagen gleiche ;sdauer; jeder dieser Puncte besitzt beziehungsweise zum andern die merkwürdige Eigenschaft, dass die an denselben reducirte Pen- ch wie eine Gewichtsmasse von gleicher Grösse verhält. Ein sol- l mit zwei Axen wird Umdrehungspendel (Reversions- :nannt.

inleuchtend, dass der Abstand beider Schneiden von einander die : bezeichnet. Dieses Verfahren bietet also ein äusserst scharfes änge eines zusammengesetzten Pendels zu erforschen.

ge eines Pendels ist übrigens, wegen der Ausdehnung der Körper 'ärme, veränderlich mit der Temperatur. Ein Sekundenpendel z. B., seine richtige Länge hat, wird bei niedrigerer Temperatur kürzere herer Temperatur längere Zeit als eine Sekunde brauchen, um eine ; zu vollenden.

Es ist gelungen, diesen Fehler durch dieselbe Ursache, welche i



Fig. 22.

lasst, wieder auszugleichen (zu compensiren), da pensationspendel, — zuerst von Graham ausg sey ein dünnes Glasrohr, welches mit einem wei Quecksilber gefüllten Glasgefässe *s* verbunden ist stellt die Linse dieser pendelartigen, bei *a* aufgehär richtung vor; *s* bezeichnet den Schwingungspunct senkt sich, wenn bei erhöhter Temperatur das Gla z. B. bis *d* verlängert. Allein das enthaltene Quecks sich vom Boden des Gefässes aus in entgegengeset aus; steigt es nun durch seine Volumsvergrösserung anfängliche Fläche bei *n* bis zu der Höhe *e* um eb als es durch die Ausdehnung des Glases gesenkt bleibt der Schwingungspunct ungeändert. Diese wird eintreten, wenn die Verlängerung der kleinen bersäule das Doppelte von der des Glases beträgt.

Dieselbe Idee liegt andern Pendelcompensati dem allgemein bekannten Rostpendel zu Grunde.

150. Die Schwingungen eines Pendels von unverän Länge sind nur an demselben Orte von unveränderlich Dauer. Man findet, dass es auf dem Gipfel eines Berges trächtlicher Höhe langsamer schwingt, als am Fusse d und aus dem Gesetze, wonach diese Abnahme eintritt, m schliessen, dass die Anziehungskraft der Schwere sich Entfernung vom Mittelpuncte der Erde vermindert, und z gekehrt wie das Quadrat der Entfernung.

Z. B. an der Küste des stillen Meeres machte nach Bouguer un mine ihr Pendel während 24 Stunden 98,770 Schwingungen; zu Qu Fuss höher, 98,740 Schwingungen, und auf dem Pinchincha, in der 14,988 Fuss, nur 98,720 Schwingungen. Diese Höhen, zu dem Erdhalb der Meeresküste = 19,630,000 Fuss addirt, und mit der Beschleun Schwere an diesen drei Orten (148) verglichen, führen zu dem erwähnt

Auf den Mond in einer mittleren Entfernung von 60 Erdhalbmes demnach die Anziehung der Erde einen 60mal geringeren Einfluss äu auf einen Erdkörper. Ein Stein in der Entfernung des Mondes würde die Erde hin während einer Minute nicht tiefer fallen als an der Erd in einer Sekunde.

151. Durch Pendelbeobachtungen ist ferner der Bewei worden, dass die Schwere an der Erdoberfläche selbst v lich ist, dass sie nämlich vom Aequator nach den Polen hin

Z. B. Ein Pendel, das in Paris täglich 98,891 Schwingungen mach dete deren zu Ponoi in Lappland in derselben Zeit 98,964. Der Grund in der Abplattung der Erde, theils in der durch die Umwälzung um ih wirkten Centrifugalkraft.

Es ist nunmehr einleuchtend, dass das Sekundenpendel an ver Orten der Erde nicht einerlei Länge haben kann. Zuweilen ist es nö Länge genau zu kennen. Sie lässt sich dann mittelst der Formel $l =$ $+ 2{,}3862 \sin \varphi^2$ berechnen. $\sin \varphi$ bedeutet den Sinus der Breite (d grades) des Ortes, l wird in Par. Lin. gefunden.

152. In der Nähe grosser und steiler Felsmassen v Pendel gegen dieselben hin aus der senkrechten Lage al Hierdurch ist bewiesen, dass die Erde nicht nur als Gan

n dass auch jeder einzelne Theil derselben eine Anziehung auf Pendelmasse ausübt. Das, was wir anziehende Kraft der Erde ınen, ist also nur die resultirende der Anziehungen, welche ımtliche Erdtheile gegen einen beliebig angenommenen mateıen Punct äussern.

Wenn aber jeder Theil der Erde mit einem Anziehungsvergen gegen alle anderen Theile derselben begabt ist, so folgt iter, dass das, was wir als Wirkungen der Schwere betrachten, Folgen einer wechselseitigen Anziehung sind. Ein fallender in z. B. wird nicht nur von der Erde angezogen, sondern zieht ıerseits auch die Erde, und zwar mit gleicher Stärke, an. Seine were, sein Bestreben zu fallen, ist das Product beider Wirkıkeiten; sie steht im geraden Verhältnisse zur Grösse der Erdıse, multiplicirt mit der Masse des Steines, und im verkehrten hältnisse zum Quadrate der Entfernung der Schwerpuncte bei-Körper.

Die Wirkung eines jeden Erdkörpers auf die übrige Erdmasse mithin gerade so gross wie die der letzteren auf die ersteren. nn gleichwohl ein Stein auf die Erde fällt, und nicht das Umgeırte stattfindet, so erklärt sich dies dadurch, dass die Beweng der Erde gegen den Stein hin, in Betracht ihrer verhältnissıssig ganz ausserordentlich grossen Masse, nur verschwindend ring seyn kann.

Beide Wirkungen sind jedoch in der That und gleichzeitig vorıden, dergestalt dass sie sich, in entgegengesetztem Sinne einend, wechselseitig aufheben, oder mit andern Worten: das allıeine Gleichgswicht ungestört lassen.

Ian hat geschlossen, dass das Vermögen, sich wechselseitig anzuziehen, t nur eine Eigenschaft der Erdtheile, sondern überhaupt aller Materie ist, dass folglich alle Weltkörper einander anziehen (Gravität). Diese Ansicht, che zuerst Newton aufgestellt hat, ist seitdem durch die Beobachtungen Astronomen vollkommen bestätigt worden. Sie bildet die Grundlage zur lärung der Bewegungen der Himmelskörper. — Die Mechanik lehrt, dass anziehende Kraft einer aus anziehenden Theilen zusammengesetzten kugeligen Masse auf einen Punct ausserhalb der Kugel gerade so gross ist, als e die ganze Masse im Mittelpuncte der Kugel vereinigt. Um hiernach z. B. Stärke der Anziehung zwischen Erde und Mond vergleichungsweise zur were an der Erdoberfläche zu bestimmen, hat man das Product der Massen ler Weltkörper durch das Quadrat der Entfernung ihrer Mittelpuncte zu diren.

Da die Stärke, womit das Pendel von verschiedenen Körpermassen angeen wird, unmittelbar der Grösse dieser Massen, und umgekehrt den Quaten der Entfernungen der Mittelpuncte ihrer Wirksamkeit vom Pendel, proional ist, so lässt sich, wenn von irgend einer Masse (z. B. von einem Berge) se, Lage des Mittelpunctes der Wirksamkeit und Stärke der Einwirkung das Pendel genau bekannt sind, die Grösse der Erdmasse durch Rechnung n. Gestützt auf diese Betrachtung hat man wiederholt Versuche angestellt, lie Stärke der Anziehung, welche Massen von bekannter Grösse auf das Penıusüben, ausfindig zu machen, und man hat daraus berechnet, dass die mitt-

lere Dichtigkeit der Erdmasse zwischen 4,5 — 5mal so gross ist, als die Wasserkörpers von gleichem Umfange. (Zu vergleichen Gehler's phys. Bd. 3, S. 950.)

153. Die gegenseitigen Einwirkungen der Körper, als Folg der in ihnen thätigen Kräfte, mögen es nun Anziehungen oder A stossungen seyn, sind stets von der Beschaffenheit; dass sie gl chen und entgegengesetzten Bewegungseffecten entsprechen, dass zwei Körper, als zusammengehöriges System betrachtet, welcher Weise sie auch auf einander einwirken mögen, dadur ihre Beziehungen nach Aussen nicht ändern können. D. h. der ge meinschaftliche Schwerpunct oder Wirkungsmittelpunct beid Massen kann durch ihre wechselseitigen Anziehungen oder Ab stossungen nicht verrückt, noch, insofern er sich bereits in Be wegung befinden sollte, das Gesetz oder die Richtung derselbe verändert werden.

Die Kraft, womit das entzündete Pulver eine Kugel forttreibt, wirkt gl mit derselben Stärke auch im entgegengesetzten Sinne; daher das Stossen d Büchse, das Zurücktreten der Kanone im Augenblicke der Explosion.

Kein Mensch vermag durch die inneren Kräfte seines Körpers allein ohne Beihülfe äusserer Kräfte oder doch eines äusseren Stützpunctes die La seines Schwerpunctes zu verrücken. Z. B. der fallende menschliche Körper, ei mal von jeder Stütze entfernt, verhält sich wie jede andere schwere Masse, vermag durch die blosse Anstrengung seiner Muskeln seine Bewegung wed zu beschleunigen, noch zu verzögern, noch die Richtung derselben zu ände Jede Aeusserung unserer Muskelkraft wirkt mit gleicher Stärke nach zwei ander entgegengesetzten Richtungen. Durch die Muskelkraft der Hände he wir z. B. unsern Körper, indem wir die Handhabe mit derselben Kraft (näml dem Gewichte des Körpers) abwärts ziehen. Ein Mensch, der auf der Sch einer Wage steht, kann daher, unabhängig von jedem äusseren festen Punc durch keine Anstrengung seiner Muskeln das einmal eingetretene Gleichg wicht stören.

Die im vorigen Paragraphen erwähnte gegenseitige Anziehung der Erdth ist also nur ein besonderer Fall eines allgemeinen Gesetzes. Wir sehen je dass der Schwerpunct der Gesammtmasse der Erde nicht nur nicht durch Fall, sondern auch nicht durch das Aufsteigen einzelner Erdkörper geänd werden kann, ja dass keinerlei Art irdischer Bewegungen, selbst nicht die h tigsten Erdbeben und vulkanischen Ausbrüche, den Schwerpunct der Erde im mindesten aus seiner Bahn zu bringen vermögen.

Auch die verschiedenen Weltkörper unseres Sonnensystems bilden ein ihre wechselseitigen Anziehungen zusammengehöriges Ganzes. Die Bew nur eines einzigen Gliedes dieses Systems bedingt die Bewegung aller üb dergestalt dass sie sich um ihren gemeinschaftlichen Schwerpunct stets Gleichgewichte erhalten. Der Standort der Sonne im Weltraume würde nur ein unveränderlicher seyn können, wenn ihr Mittelpunct zugleich der Schw punct des ganzen Sonnensystems wäre.

Von der Wage.

154. Die Wage besteht im Wesentlichen aus drei Theilen: ei festen Unterlage, als Stütze für die Axe des Wagebalke dem Wagebalken selbst und den Wageschalen.

Der Wagebalken ist ein doppelarmiger Hebel, die Anhän

r Schalen sind die Angriffspuncte von Kraft und Last. m die Entfernungen dieser Puncte vom Stützpuncte gleich ɔich sind, entsteht die gleicharmige oder ungleich- Vage.

ɔntlichen Bedingungen guter Wagen gelten mit gleichem Rechte derselben. Wir werden uns jedoch bei den folgenden Erörterungen ɔe auf die gleicharmige oder Gleichwage beziehen.

alken und Schalen bilden ein zusammengesetztes Pen- n Bewegung gesetzt oscilliren sie um den Stützpunct. hieraus von selbst, dass der Schwerpunct der ı Wage unter dem Stützpuncte liegt.

ɔr Schalen für sich genommen, bildet wieder ein Pendel. ler Schwingungen desselben wird sein Schwerpunct nd dem Stützpuncte der Wage genähert und wieder da- nt, also das Verhältniss der Hebelsarme von Kraft und lert. Man sieht hieraus, dass eine Wage nur während ustandes der Schalen die Gleicharmigkeit erhalten kann. ıge soll als Hülfsmittel dienen, die Gewichte der Körper ı. Die Erreichung dieses Zweckes knüpft sich an zwei ;en, welche jede gute Wage erfüllen muss: Richtig- Empfindlichkeit.

Vage ist richtig, wenn der Wagebalken ohne anhängende mit den Schalen und nach Verwechslung derselben stets zontale Stellung behauptet, oder doch in dieselbe zurück- nn ferner ein auf die eine oder andere Schale gebrachtes icht, bei unbelasteter wie belasteter Wage, stets den- sschlag bewirkt.

ıge ist empfindlich, wenn die kleinsten, bei den Abwä- ɔbrauchten Gewichtstheile, als Uebergewicht einen Aus- ı sehr bemerkbarer Grösse bewirken.

ɔ wagerechte Stellung des Balkens, so wie die Grösse chlagewinkels sicher zu erkennen, befindet sich an ɔin Zeicher, der sich vor einem feststehenden Grade- vegt. Als Zeicher dient entweder der verlängerte Hebels- ein besonderes, aus der Mitte des Wagebalkens auf- oder 'erichtetes Stück (die Zunge). Der Ausschlagewinkel deutlicher zu erkennen, je länger der Zeicher ist.

ad der Empfindlichkeit einer Wage beruht theils auf den en wonach, theils aber auch auf der Genauigkeit und vomit sie ausgeführt ist. Nur die ersteren können den ıd einer wissenschaftlichen Erörterung bilden.

ɔnke sich eine Wage, so gebaut, dass ihr Schwerpunct tzpunct fällt. Diese Wage wird keine bestimmte Gleich- ıge annehmen, sie kann nicht als Pendel schwingen. aber ein kleines Gewicht unterhalb des Stützpunctes zu, ie von diesem Augenblicke an nur in einer einzigen

Lage zur Ruhe kommen, in der nämlich, worin der Schwerpu
des zugefügten Gewichtes lothrecht unter dem Stützpuncte lie

Der grösste Theil der Masse einer jeden Wage ist um den Stü
punct herum gleichförmig vertheilt, so dass immer nur ein v
hältnissmässig sehr kleiner Theil ihres Gewichtes das Bedinge
ist für die Herstellung der Ruhelage. Je kleiner dieser The
das sogenannte Schwingungsgewicht, je geringer d
Abstand seines Schwerpunctes vom Stützpuncte, i
Vergleiche zu der Entfernung der Aufhängepuncte d
Schalen von demselben Stützpuncte, um so empfin
licher ist die Wage.

Eine empfindliche Wage muss den höchsten Grad der Bewe
lichkeit besitzen, und soll also gar nicht oder doch nur unmerkl
auf ihrer Unterlage reiben. Sie darf daher nicht auf Zapfen, w
z. B. die Rolle, sondern muss auf einer scharfkantigen Mess
schneide, d. h. auf der Kante eines dreieckigen Prismas, von h
tem Stahle und von 40—60° Neigung der Seitenflächen ruh
Auch die Unterlage muss aus hartem Stahle, oder besser noch a
Achat verfertigt sein, und muss der Messerschneide, so weit
beide berühren, eine ebne, wagerechte Fläche darbieten,
etwa noch vorhandene Reibung nur als wälzende Reibung
Vorschein treten kann.

Vorrichtungen zum Schonen der Schneide und ihrer Unterlage, so wie
Feststellen der Wage. Bei den feinsten chemischen Wagen ist eine scharfk
tige Schneide unerlässlich. Bei solchen Wagen jedoch, die bestimmt sind, Las
von einem oder mehreren Pfunden zu tragen, pflegt man die scharfe Kante etw
abzustumpfen oder abzurunden, um dadurch das Einschneiden in die Unterla
zu vermeiden.

Das Aufhängesystem der Schalen muss auf dieselbe Weise u
mit gleicher Sorgfalt, wie das des Wagebalkens ausgeführt sey
damit die Schalen, jede um ihre Axe, eine gleich vollkommne B
weglichkeit besitzen, und daher mit Sicherheit stets in die La
zurücktreten, in welcher ihr Schwerpunct lothrecht unter dem Au
hängepuncte liegt.

Die drei Schneiden müssen genau gleich gerich
seyn und in einer und derselben ebnen Fläche lieg
Die beiden äusseren müssen von der mittelsten gen
gleich weit entfernt stehen. Von diesen Bedingungen hä
die Richtigkeit, zum Theil aber auch die Empfindlichkeit ab.

Laufen die drei Axen nicht parallel, oder sind die äusseren v
der mittelsten ungleich weit entfernt, so sind die Hebelsarme u
gleich. Die Wage kann folglich nicht als Gleichwage benutzt werd

Ueber die Mittel, die Schneiden richtig zu stellen, vergleiche man die
Platte II. (Wage des Chemikers) gehörige Beschreibung.

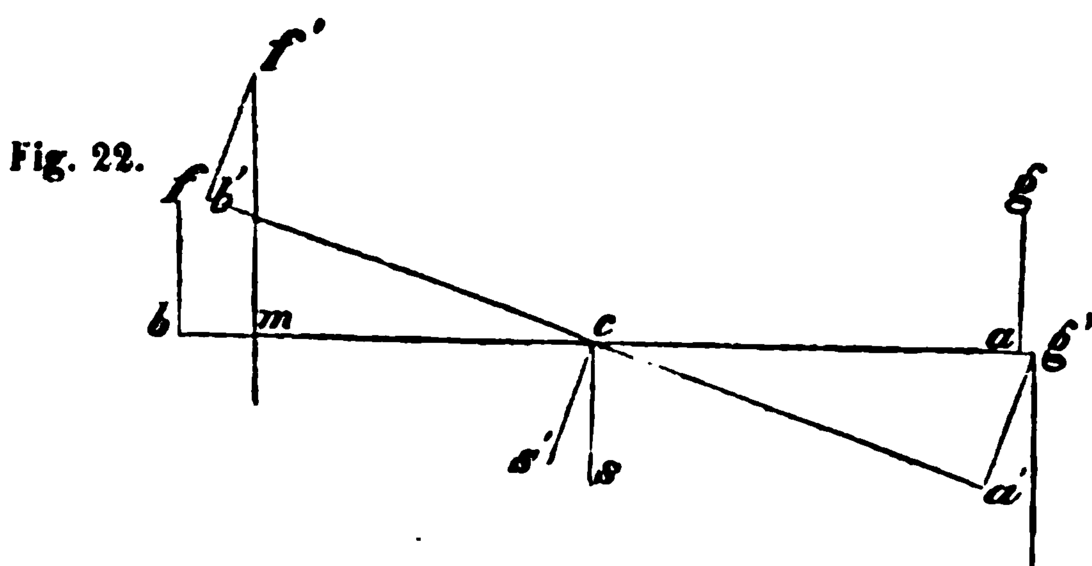


Fig. 22.

Stehen die Axen der Schalen *g* und *f* (Fig. 22) höher als der tzpunct *c* der Wage, so vergrössert sich bei erfolgendem Auslage der Hebelsarm der sinkenden Schale, während der der genden kleiner wird. Z. B. für einen Ausschlagswinkel *a c a'* d ersterer um *a g'* vergrössert, letzterer um *b m* verkleinert. e solche Wage ist also nur in der wagerechten Stellung gleichig; sie wird ungleicharmig, sobald man sie schwingen lässt. gen, die mit diesem Fehler, welcher sie gänzlich unbrauchbar cht, behaftet sind, erkennt man daran, dass bei zunehmender astung, jedoch gleichbleibendem Uebergewichte, der Ausschlag nimmt, und dass bei fortwährender Vergrösserung der Belastung Wage endlich umfällt. Der Grund ist, weil durch dieses Verren der gemeinschaftliche Schwerpunct der beladenen Wage mählig über den Schwerpunct *s* des Schwingungsgewichtes geen und endlich über den Stützpunct selbst gebracht wird.

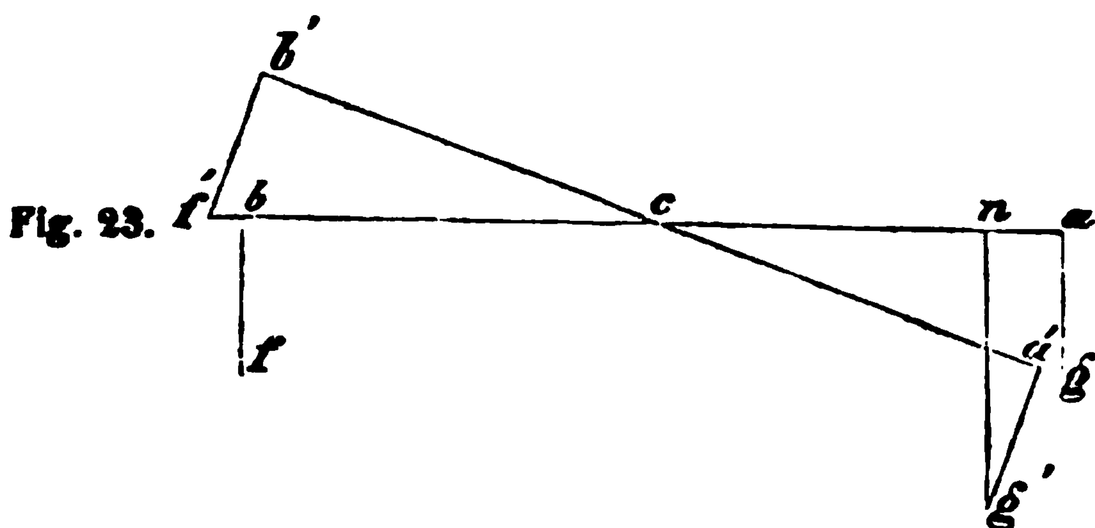


Fig. 23.

Stehen die Axen der Schalen *g* und *f* niedriger als der Stützct, so verkürzt sich der Hebelsarm der sinkenden Schale, wähl der der steigenden grösser wird. Z. B. wieder für den Ausagswinkel *a c a'* wird ersterer um *a n* verkürzt, letzterer um vergrössert. Eine solche Wage ist also ebenfalls unrichtig. erkennt diesen Fehler aus der Abnahme der Epmfindlichkeit zunehmender Belastung.

Befinden sich die Axen der Schalen mit der Hauptaxe genau in elben Ebne, so liegt auch der gemeinschaftliche Schwerpunct

des auf beide Anhängepuncte wirkenden Druckes in dieser
also für die Bedingung gleicher Belastung in dem Stützpuncte
Das Schwingungsgewicht bleibt daher, so lange sich der
balken nicht biegt, ungeändert, die Empfindlichkeit bleibt
Auch ist leicht einzusehen, dass nur in diesem einzigen Fa
Wage in jeder Lage sich gleicharmig erhält. Bei einer
welche nach diesen Grundsätzen richtig gebaut ist, bewirk
nur ein gegebenes Uebergewicht innerhalb der Gränzen er
Belastung stets einerlei Ausschlag, sondern es ist auch die
dieses Winkels der Grösse des Uebergewichtes fast gena
portional. Die Grösse des Ausschlages gestattet daher bei
Bekanntschaft mit einer Wage einen ziemlich sicheren Schl
die Grösse des Uebergewichtes.

Man weiss z. B., dass bei einer gewissen Wage 1 Milligrm. Uebe
einen Ausschlag von 2° bewirkt. Bei einer Abwägung ergibt sich ein A
von 10°, so folgt, dass auf der Seite der Senkung noch 5 Milligrm. zu v
— Streng genommen muss, wenn der Ausschlag in arithmetischem Ver
zunehmen soll, das Uebergewicht zunehmen, wie die Tangente dieses Bo
Winkeln unter 20° weicht jedoch das Verhältniss der Tangenten von
zugehörigen Bögen um keine hier in Betracht kommende Grösse ab.

Das Zeichen des hergestellten Gleichgewichtes ist:
Zeicher der Wage auf den 0 Punct des Gradebogens einsp
wöhnlich geschieht dies erst nach einer Reihe von Schwing
Das Schwingungsgewicht, als die einzige Triebkraft für die
und Herbewegungen, hat dabei nicht nur seine eigne Mass
dern auch die ganze träge Masse der Wage sammt Belast
Bewegung zu setzen. Empfindliche Wagen schwingen dal
mer langsam; um so langsamer, je massiver sie gebaut si
je mehr Masse sich an den äussersten Puncten befindet
d. h. je länger die Arme der Wage, je schwerer die Sch
grösser die Belastung. — Langsamkeit der Schwingungen i
ein grosser Uebelstand bei häufigem Gebrauche der Wage. S
und Wagebalken dürfen daher nicht schwerer seyn, als ihre
keit durchaus erfordert. Die durchbrochnen Wagebalken ve
die grösste Festigkeit mit der geringsten Masse. Ferner sol
Hebelsarme so kurz seyn, als es mit dem bequemen Eintrag
Gewichte und abzuwägenden Gegenstände in die Schalen
verträglich ist, weil diese kleineren Dimensionen nicht
Allgemeinen einen leichteren Bau der Wage gestatten, s
weil namentlich auch die Grösse des Abstandes der äus
Puncte von der Axe und folglich das Trägheitsmoment de
bedeutend dadurch gemindert wird.

Durch Berücksichtigung dieser Dinge kann die Wage bei einem hoh
der Empfindlichkeit dennoch sich wie ein Pendel von mässiger Län
halten. — Bei den feinsten Wagen, namentlich zum Gebrauche der C
pflegt man entweder oberhalb oder unterhalb des Stützpunctes eine
stehende Schraube anzubringen, an welcher ein kleines Gewicht auf un

bewegt werden kann. Durch diese Vorkehrung lässt sich der Schwerpunct heben und senken, und dadurch nach Befinden die Wage empfindlicher machen, oder auch ihre Empfindlichkeit mässigen *). — Auf empfindlichen Wagen kann man, selbst wenn sie unrichtig sind, das wahre Gewicht eines Körpers ausmitteln, indem man ihn zuerst auf die gewöhnliche Weise abwiegt, dann aus seiner Schale nimmt und sehr genaue Gewichte an seine Stelle legt, so lange bis wieder Gleichgewicht eingetreten ist.

Die ungleicharmigen Wagen sind meistens dazu bestimmt, um mit kleinen Gewichten grosse Lasten richtig abzuwägen. Bei der Decimalwage z. B. ist der Hebelsarm der Gewichte 10mal so lang als der der Ladung. Letztere wiegt daher 10mal so schwer als die Gewichte, wodurch man sie ins Gleichgewicht gesetzt hat. Die allgemein bekannte Strassburger Brückenwage ist eine Decimalwage.

Von dem Princip des ungleicharmigen Hebels hat man auch bei den feinen chemischen Wagen eine sehr nützliche Anwendung gemacht. Die Entfernung

---

*) Die Platte II. enthält die vordere Ansicht einer feinen chemischen Wage in halber natürlicher Grösse, nebst allem zum Zwecke der Ausführung wünschenswerthen Detail. — Fig. 2, 3 und 4 zeigt eine Vorrichtung die Wage in Ruhe zu stellen, welche zuerst bei den Wagen von Oertling angewendet worden ist. Das dreikantige Stahlprisma *b b*, die Axe der Wage, ruht während des Gebrauchs auf zwei Achatplatten *a a*, Stücken derselben wagerechten Ebne und mit der Säule, die das ganze Werkzeug trägt, unverrückbar fest verbunden. Diese feste Unterlage ist von einem auf und nieder beweglichen Rahmen *d d* umgeben, der mit einer Stange im Innern der Säule zusammenhängt, mittelst eines excentrischen Rades im Fusse der Säule gehoben werden kann, und durch eine schraubenförmig gewundene Feder am obern Ende der Stange herabgedrückt wird. In dem Rahmen befinden sich vertical unter den beiden Enden der Stahlschneide zwei Einschnitte, geeignet um, wenn man den Rahmen hebt, die Schneide aufzunehmen und von ihrer Achatunterlage abzuheben; zugleich greifen die Arme *c c* eines Queerstückes *g g* unter entsprechende Stellen des Wagebalkens, wodurch dieser festgestellt wird.

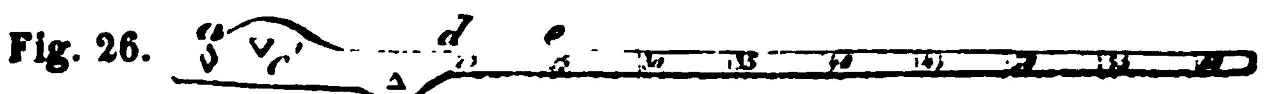
Fig. 5 und 6, in natürlicher Grösse gezeichnet, zeigt ein sehr zweckmässiges Aufhängesystem der Schalen, welches Hoss bei seinen Wagen in Anwendung bringt. Die stählernen Haken, woran die Schalen aufgehängt werden, haben (Fig. 6) eine beträchtliche Breite, damit das Gewicht der Schale auf mehreren Puncten der Schneide ruht, und letztere also weniger abgenutzt wird. Um nun aber die Haken zu verhindern, an den Seiten des Wagebalkens anzustreifen, wodurch die freie Beweglichkeit leiden müsste, besteht die Schneide aus zwei Stücken, die an den zugekehrten Seiten von unten so ausgeschnitten sind, dass sie nach oben spitz zulaufen. Zwischen diesen Spitzen ist gerade so viel Spielraum gelassen, um einer dünnen Messingscheibe, welche in der Mitte des Hakens angebracht ist, freie Bewegung zu gestatten. Durch diese Anordnung ist eine Verrückung des Hakens unmöglich gemacht. Um die Länge der Hebelsarme bequem justiren zu können, sind die stählernen Endstücke *l m*, an welchen sich die Schneiden befinden, beweglich gemacht. Zur Verrückung dient die Schraube *n*, deren Gewinde in den Wagebalken eingeschnitten ist, und die zugleich in eine Vertiefung des beweglichen Endstückes eingreift. Auf derselben Stahlplatte *l m* sitzt ein Stift *s*, der mit etwas Spielraum in eine entsprechende Vertiefung des Wagebalkens eingeht. Mittelst der Schraube *m'* und einer ähnlichen auf der hintern Seite des Wagebalkens lässt sich der Stift um etwas Weniges verrücken, wodurch es möglich wird, den etwa fehlenden Parallelismus der drei Schneiden leicht und mit Sicherheit herzustellen.

vom Stützpuncte bis zum Aufhängepuncte der Schale auf jeder Seite des W
balkens ist durch Feilstriche in 10 gleiche Abtheilungen gebracht. Legt man
z. B. auf den 6ten Theilstrich vom Stützpuncte aus ein Gewicht, so wirkt
gerade so wie $^6/_{10}$ desselben Gewichtes in der Wagschale. Man ist also
diese Anordnung in den Stand gesetzt, mit den kleinsten vorhandenen Gew
bis zur Genauigkeit von $^1/_{10}$ abzuwiegen.

Eine ungleicharmige Wage, deren Gebrauch sehr verbreitet ist, i
Schnellwage, so genannt, weil das Wiegen durch blosses Verrücken
Gewichtes, des sogenannten Laufgewichtes, auf dem langen Hebelsarm
schieht. Die Einrichtung dieser Wage ist übrigens leicht zu verstehen.

Fig. 25. 

Es sey (Fig. 25) *c* der Stützpunct der Schnellwage, die Schale ruht a
Schneide *a*, das Laufgewicht ist von *d* nach *n* verrückbar. Gesetzt, d
Stelle *d* gehängt, hält es der leeren Schale das Gleichgewicht, so muss
einem dem seinigen gleichen Gewichte in der Schale das Gleichgewicht
zu können, von *d* nach *e*, so dass $d\ e = a\ c$, vorgerückt werden. Das
statische Moment des Laufgewichtes $P.\ c\ e$, welches hierdurch erhalten
ist nichts anderes als das frühere Moment $P.\ c\ d$, das dem Momente der
Schale entsprach, vermehrt um das Moment ($P.\ a\ c = P.\ d\ e$) der Ladung
so leicht ist einzusehen, dass das Laufgewicht in der Stellung *f* der L
der Schale, in der Stellung *g* der Last 3 *P* das Gleichgewicht hält u.
nun das Laufgewicht z. B. 5 Pfund schwer, so kann man die Abth
ef, *fg* u. s. f. je in 5 Unterabtheilungen bringen, von welchen jede
Pfund mehr bezeichnet.

Fig. 26. 

Die Schnellwage ist gewöhnlich so eingerichtet, um darauf mit dem
Laufgewichte auch grössere Lasten, als z. B. 20 Pfund, abwiegen zu k
Man dreht sie zu diesem Zwecke herum und macht die Schneide *c'* zum
puncte, während die Schale, wie vorher, auf der Schneide *a* ruht. Der
Arm hat jetzt das Uebergewicht, aber ein in die Wagschale zugegebene
wicht, am besten das Laufgewicht selbst, stellt das Gleichgewicht wied
Hängt man hierauf das Laufgewicht an den Punct *d*, so gewählt, dass
$= 3.\ a\ c'$, so bedarf man zur Herstellung des Gleichgewichtes, in der
eine Ladung $= 4\ P$, oder in unserem angenommenen Beispiele, da $P =$ 5
einer Ladung von 20 Pfund. Der Punct *e* ($d\ e = a\ c'$) entspricht
Pfund u. s. w.

Den Angaben der Schnellwage wird häufig kein grosses Zutrauen ge
weil man keine einfache und sichere Controlle für die Richtigkeit ders
sitzt. Eine solche Controlle würde sich jedoch leicht erhalten lassen, we
gesetzliche Vorschrift bestände, wonach das Laufgewicht immer eine
Anzahl Pfunde, z. B. genau 4 oder 5 Pfund betragen, und wonach dieses
auf dem Stücke selbst angezeigt seyn müsste.

Bewegungen in krummer Linie.

155. Die geradlinigte Bewegung kann immer angesehen
den als die Folge der Wirksamkeit einer einzigen Kraft, di
weder ursprünglich vorhanden war, oder aus der mittleren
samkeit mehrerer Kräfte hervorging.

Krummlinigte Bewegungen lassen sich nicht auf eine e

sache zurückführen; sie entstehen, wenn ein Körper, nachdem unter dem Einflusse einer gewissen Kraft eine gewisse Geschwindigkeit bereits gewonnen hatte, durch eine andere Kraft bewegende Kraft oder Widerstand) nach einer andern Richtung trieben wird.

So ist z. B. die Bahn eines in wagerechter oder schiefer Richtung geworfenen Körpers eine krumme Linie, weil er von dem Augenblicke an, da er sich selbst überlassen ist, durch die Schwerkraft mehr und mehr von der anfänglichen Richtung abgelenkt wird. — Die Bewegung geworfener Körper lässt sich durch die Bahn eines unter verschiedener Neigung springenden Wasserstrahls anschaulich machen.

Das Gesetz, dass ein Körper unter der Einwirkung mehrerer Kräfte sich gerade verhält, als werde er von einer nach der andern, von jeder eine entsprechende getrieben (134), bildet eine ganz sichere Grundlage zur Berechnung dieser Bewegungen. Z. B. die Bewegung einer mit 1000 Fuss Geschwindigkeit wagerecht fortgetriebnen Kanonenkugel ist eine krumme Linie. Diese Kugel wird wohl (abgesehen von dem Widerstande der Luft) nach einer Sekunde in wagerechter Richtung 1000 Fuss entfernt und lothrecht 15 Fuss gesunken seyn.

Wenn die Ablenkung eines bewegten Körpers aus der geraden Linie durch einen fortdauernden Widerstand, wie bei dem einfachen Pendel durch die Festigkeit des Fadens bedingt ist, so entsteht die Art krummlinigter Bewegung, welche man Bewegung auf vorgezeichneter Bahn nennt. Der Widerstand wirkt zugleich einer Kraft, welche sich mit der bereits vorhandenen Ursache der Bewegung in jedem Augenblicke zu einer Resultirenden von veränderter Richtung zusammensetzt. Weil aber diese jeden Augenblick neu hinzutretende Kraft (der Widerstand) in ihrer Richtung keinen Weg zurücklegt, oder mit andern Worten: weil sie kein Bewegungsmoment hat, so kann durch ihre Wirksamkeit die vorhandene Bewegung selbst (die Grösse der Bewegung) nicht geändert werden. Z. B. das fallende Pendel erlangt seine Geschwindigkeit nur durch die Schwere; sie ist daher zu jeder Periode der niedergehenden Bewegung nur von der lothrechten Fallhöhe abhängig. Ueberhaupt erlangt ein Körper in den verschiedensten krummlinigten Bahnen bei gleicher lothrechter Fallhöhe stets gleiche Geschwindigkeit. — Eine träge Masse, die sich um eine feste Axe dreht, erhält die ihr einmal ertheilte Geschwindigkeit unveränderlich, weil durch den gegen die Axe gerichteten Widerstand in jedem Augenblicke zwar die Richtung der Bewegung aller materiellen Theile geändert wird, aber kein neuer Bewegungseffect hinzutritt.

156. Die Bewegung eines jeden Körpers um einen festen Mittelpunct setzt voraus: eine Anziehung, welche von diesem Orte ausgeht, oder im Allgemeinen einen gegen den Mittelpunct gerichteten Druck (Centripetalkraft), und eine Geschwindigkeit, welche jedem materiellen Theilchen winkelrecht auf die Richtung der Anziehung bereits ertheilt worden ist (Tangentialkraft). Ein Körper durch die Centripetalkraft allein getrieben, bewegt sich gegen den festen Punct; dagegen unter dem Einflusse der Tangentialkraft sucht er eine Richtung zu behaupten, welche, da sie auf dem Radius seines augenblicklichen Ortes stets winkelrecht steht, einem Streben entspricht, sich aus der Kreislinie und also auch vom festen Mittelpuncte zu entfernen. Die Folge dieses Strebens ist ein Druck in entgegengesetztem

Sinne der Centripetalkraft. Er wird Centrifugalkraft genannt. Sind beide entgegengesetzten Kräfte gleich, so kann sich ein ihrem Einflusse unterworfener materieller Punct weder dem festen Puncte nähern, noch davon entfernen. Es entsteht die Kreisbewegung.

Die Kreisbewegung setzt also voraus: eine gewisse, je... Theile der rotirenden Masse beigebrachte Geschwindigkeit ... eine gegen den Mittelpunct oder gegen die Axe der Bahn gerichtete Anziehung, von der Stärke, dass der aus der Tangentialkraft entspringenden Centrifugalkraft fortdauernd das Gleichgewicht gehalten wird. Wenn die Masse des rotirenden Körpers um die Axe so vertheilt ist, dass die Wirkungen der Centrifugalkräfte sämmtlicher materieller Theile auf die Axe einander aufheben, so wird letztere eine freie Axe genannt. Z. B. die Axe der Erde ist eine freie Axe. Auch der auf einem Puncte rotirende Kreisel hat eine freie Axe.

Beweise für das Auftreten der Centrifugalkraft lassen sich leicht von jeden um einen festen Punct wälzenden Körpermasse ableiten. Z. B ein schwerer an einem Faden befestigter Körper, den man im Kreise schwingen lässt, ... den Faden bis zum Zerreissen spannen. Die Schleuder.

Die Centrifugalkraft der Erde, bewirkt durch die tägliche Umdrehung um ihre Axe, ist die Ursache der Abplattung nach den Polen hin. Jeder kugelförmige, aus verschiebbaren, übrigens zusammenhängenden Theilen bestehende Körper erleidet bei der Umwälzung um einen Durchmesser eine ähnliche Abplattung. — Körper, die man aus beträchtlicher Höhe herabfallen lässt, beschreiben zu Folge der Centrifugalkraft einen Weg, der von dem Lothe etwas östlich abweicht. (Benzenberg.)

157. Beschleunigende oder verzögernde Kräfte, welche die Theile eines Körpers ausserhalb seines Schwerpunctes gerichtet sind, bewirken eine Umdrehung der ganzen Körpermasse um den Schwerpunct, weil dieser der einzige Punct des Systems ist, dessen Lage durch die Einwirkung der Körpertheile auf einander keine Aenderung erleiden kann (153). Durch diese Bewegung hat jedoch das Gleichgewicht nach Aussen keine Störung erlitten, es ist folglich auch kein der Grösse der von Aussen her einwirkenden Kraft entsprechender Effect hervorgebracht. Der Körper empfängt daher ausser der drehenden um seinen Schwerpunct noch eine zweite geradlinigte Bewegung, ganz so, wie es hätte geschehen müssen, wenn die Kraft unmittelbar gegen den Schwerpunct wäre gerichtet gewesen, und als ob die ganze Masse in demselben vereinigt wäre.

Beispiel. Der Schwerpunct einer Kugel erhält auf der schiefen Ebne der Intensität der Schwere und der Neigung der Bahn entsprechende Beschleunigung. Durch den Widerstand der Bahn auf den Umkreis der Kugel wird Bewegung in die rollende verwandelt, übrigens gerade um so viel verzögert, als wirkte der Widerstand der wälzenden Reibung unmittelbar in den Schwerpunct der Kugel.

Excentrischer Stoss.

158. Wenn die Bewegungsbahnen der Schwerpuncte zweier sammenstossenden Körper auf ihrer gemeinschaftlichen Berührungsebne senkrecht stehen, so wird der Stoss ein gerader genannt. Bilden die Bewegungsbahnen der Schwerpuncte mit der gemeinschaftlichen Berührungsebne andere als rechte Winkel, so steht der schiefe Stoss. Der Stoss heisst central, wenn die rade Linie, welche die Schwerpuncte beider Massen verbindet, gleich durch ihren gemeinschaftlichen Berührungspunct geht, ie dies z. B. beim Zusammenstossen zweier Kugeln immer geschehen muss. Wo es nicht der Fall ist, wird der Stoss ein excenischer genannt.

Bei den früher (118) vorgetragenen Stossgesetzen war nur r centrale gerade Stoss berücksichtigt worden. Die Wirkung s centralen schiefen Stosses kann indessen auf die des geraden icht zurückgeführt werden, indem man sich die Bewegungsössen der beiden schief zusammenstossenden Körper nach dem setze des Parallelogramms der Kräfte (136) so zerlegt denkt, ss vier Bewegungen entstehen, von welchen zwei an Grösse nander gleich und in der Richtung entgegengesetzt sind, folgch einander aufheben, die beiden andern gleich gerichtet sind, nd folglich sich zu einander fügen.

Wenn ein Körper einen excentrischen Stoss erleidet, so erält sein Schwerpunct eine fortschreitende Bewegung, ganz so ie beim centralen Stosse; zugleich entsteht eine Drehung der stossenen Masse um ihren Schwerpunct, die jedoch weder auf e Richtung noch auf die Grösse der fortschreitenden Bewegung nen Einfluss hat (153).

V. Von den physikalischen Eigenschaften der Flüsgkeiten, insbesondere der schweren, tropfbaren Flüssigkeiten.

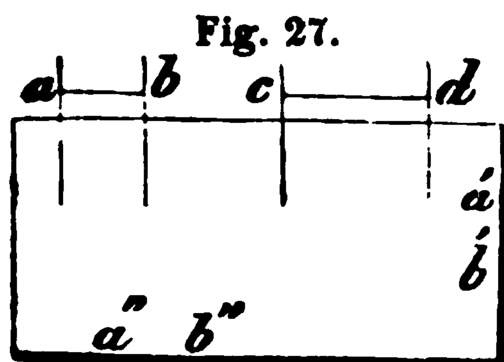
159. Die Grundeigenschaft flüssiger Körper ist ein sehr hoher d der Beweglichkeit ihrer Theile. Denkt man sich einen Körr, der diese Eigenschaft in vollkommnem Grade besitzt, so muss e kleinste Kraft hinreichen, um einzelne Theile im Innern desben nach jeder Richtung zu verschieben, und zwar ohne dass durch die Gestalt des Ganzen geändert oder sein Gleichgewicht ch Aussen gestört wird.

Zu Folge ihres Gewichtes besitzen alle flüssigen Theile ein eben sich zu bewegen, zu zerfliessen. In Behältern eingeossen, durch deren Festigkeit sie zusammengehalten werden, n sie auf die Wände derselben einen Druck und nehmen dessb immer die Gestalt der Gefässe an.

160. Der auf irgend einen Theil einer vollkommei
Masse gerichtete Druck pflanzt sich durch die ganze
nach jeder Richtung mit gleicher Stärke fort. Ist z. B. ein
Theil der Wand eines ringsum geschlossenen Behälte
lich, und ist diese bewegliche Fläche einem gewissen D
gesetzt, so hat jeder andere gleich grosse Theil der
auch jeder gleich grosse Theil einer durch die Flüssigk
gültig in welcher Richtung, gezogenen Ebne densel
rechtwinklig auf seine Fläche, auszuhalten.

Da ein materielles Theilchen von vollkommner Beweglichkeit j
der Bewegung mit gleicher Leichtigkeit folgen kann, da ferner d
bewegender Kräfte, wenn diese in ihrer eignen Richtung durch
aufgehalten werden, sich mit unveränderter Stärke auch nach
Richtung fortleiten lassen (123), so ergibt sich als nothwendig
jeder Theil einer Flüssigkeit, welcher der Einwirkung einer bewe
ausgesetzt ist, sich nur dann im Gleichgewichte erhalten kann, w
jeder Richtung hin ein der Kraft an Grösse gleicher Widerstand
bewegende Kraft muss sich also von dem Puncte ihrer Einwirk
jeder Richtung als ein ihr an Grösse gleicher Druck äussern und
Man denke sich zwei beliebig gewählte und beliebig grosse Stü
eines ringsum verschlossenen und mit Wasser ganz angefüllten
weglich gemacht. Die eine dieser beweglichen Flächen, *a b*, wer

Fig. 27.



Gewichte *P* belastet, so hat jeder gleic
der Behälterwand, *a' b* oder *a'' b''* u. s.
Druck auszuhalten. Sinkt die Fläche
Raum der Flüssigkeit ein, so wird di
wegliche Fläche *c d* hervorgedrängt,
der Weg, welchen sie zurücklegt, m
dem auf sie ausgeübten Drucke, gleich
der Fläche *a b*, multiplicirt mit dem
Die Inhalte der beiden beweglichen Flä
c d seyen *f* und *F*, so lässt sich die Grösse des auf *c d* wirkenden D
$\frac{F.P}{f}$ bezeichnen. Wirkt ein eben so grosser Druck auf dieselbe Flä
aussen, so hält er dem Gewichte *P* das Gleichgewicht.

Der in diesem Paragraphen erörterte Lehrsatz wir
lich das hydrostatische Grundgesetz genannt. -
dung auf die Brahma'sche oder hydraulische Pre

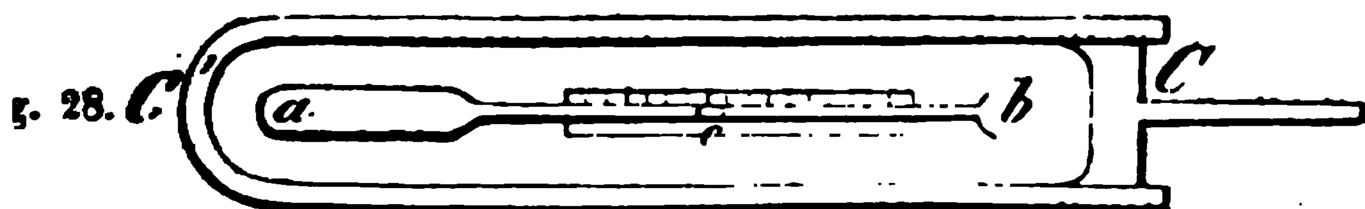
161. Die einander berührenden Theile tropfbarer Fl
ziehen sich sehr bemerkbar an. Wenn jedoch diese
sich nach jeder Richtung mit gleicher Stärke äussert,
die vollkommne Beweglichkeit der Theile, wenigstens
der Masse, nicht hindern (104). Das hydrostatische G
wird daher auf tropfbare Flüssigkeiten eine um so vol
Anwendung finden, je geringer ihre Cohäsion ist, und in
je gleichförmiger sich dieselbe nach verschiedenen
äussert.

Manche Flüssigkeiten, wie Weingeist, Schwefeläther, scheine
der sichtbar vorhandenen gegenseitigen Anziehung ihrer Theile, i
Masse eine fast vollkommne Beweglichkeit zu besitzen. Man nen
flüssig. Weniger ist dies bei dem Wasser der Fall, namentlich

mperatur; seine Flüssigkeit vermehrt sich aber durch Erwärmen. — Solche üssigkeiten, deren Beweglichkeit nur unvollkommen ist, wie die meisten fetten le, auch Quecksilber, werden dick- oder zähflüssig genannt. Sie werden rch Erhöhung der Temperatur im Allgemeinen dünnflüssiger.

162. Die tropfbaren Flüssigkeiten sind in einem sehr gerinen Grade zusammendrückbar (compressibel). Messungen ber ihre Zusammendrückbarkeit, welche von Canton, Oertedt und zuletzt und in der grössten Ausdehnung von den Genr Physikern Colladon und Sturm unternommen worden sind Pogg. Ann. 12. S. 39), haben gezeigt: dass die Zusammendrückarkeit für gleiche Zunahmen des Druckes zwar im Allgemeinen bnimmt, jedoch bei den meisten Flüssigkeiten in so wenig merkcher Weise, dass sie innerhalb ziemlich weiter Gränzen den ückenden Kräften proportional gesetzt werden darf. Nach Wegthme des äussern Druckes stellt sich das anfängliche Volum stets ieder her; die tropfbaren Flüssigkeiten besitzen also eine vollmmne Compressions-Elasticität.

Um Flüssigkeiten auf ihre Compressibilität zu untersuchen, bringt man sie ein Glasgefäss (Piézometer), das nach Art der Thermometer aus einem geamigen Behälter und einer sehr engen, oben offnen Röhre gebildet ist. Die hre ist in gleiche Raumtheile getheilt, und das Verhältniss ihres Inhaltes zu m des Behälters bekannt. Der auf den Inhalt der Röhre ausgeübte Druck eilt sich gleichmässig der ganzen, im Piézometer befindlichen flüssigen Masse it, und wenn sie wirklich compressibel ist, wird die Länge der in der Röhre thaltenen Säule auf messbare Weise abnehmen. Weil aber der auf die Flüsgkeit wirkende Druck sich auch auf die Innenwände des Glasgefässes fortanzt, so müsste dieses ausgedehnt und dadurch das Resultat des Versuchs eifelhaft werden. Um diesem Uebelstande vorzubeugen umgibt man das Pié-



g. 28.

meter *a b* mit einem Glascylinder CC' von sehr dicken Wänden, der an einem de verschlossen, am andern offen ist, und mit Wasser gefüllt wird. Am offnen de ist eine passende Vorrichtung angebracht, um das Wasser z. B. durch ndringen einer Schraube, oder mittelst einer Druckpumpe, oder auf andere eise zusammenzupressen. Es ist einleuchtend, dass dieser Druck sich nunhr gleichmässig auf die Innen- und Aussenwände des Piézometers fortpflanzt. n aber die Vermischung der äusseren und inneren Flüssigkeit zu verhindern, d beide bei *r* in der Röhre durch eine Luftblase getrennt.

Denkt man sich die folgenden Flüssigkeiten in Glasgefässen, auf je 1 Par. Z. Fläche einem Drucke von 7573 Gramme (einem Atmosphärendrucke) ausetzt, so beträgt ihre Volumsverminderung, ein Milliontel des anfänglichen ums ausgedrückt, bei

luftfreiem Wasser von 0°	48
lufthaltigem Wasser von 0°	47,2
Alkohol von 11,°6	92,9
Schwefeläther von 0°	130
„ von 11,°4	146
Schwefelsäure von 0°	28,6
Terpentinöl von 0°	69,7
Quecksilber von 0°	1,73.

Zu Folge der Art, wie die betreffenden Versuche angestellt sind, wird die Glasmasse des Piézometers selbst zusammengedrückt, und dadurch Volum um 1,65 Millionlel vermindert. Um dieselbe Grösse vermindert sich innere Raum des Glasgefässes. Um dieselbe Grösse vermindert sich der in Raum des Glasgefässes. Um die wirkliche Zusammendrückbarkeit obiger Fl sigkeiten zu erhalten muss, daher zu jeder in der Tabelle enthaltenen Zahl 1,65 hinzugefügt werden.

Eine Vergleichung der Volumsverminderung flüssiger Körper durch äus Druck mit derjenigen durch Temperatur-Erniedrigung gibt einen Begriff von ausserordentlichen Gewalt, womit die letztere vor sich geht. Z. B. die mitt Ausdehnung oder Zusammenziehung des Wassers für 1° Temperatur-Aender beträgt 0,00042 des Volums bei 0°. Um dieselbe Raumverminderung äusseren Druck hervorzubringen, muss jeder Q. Z. der Wasserfläche mit ei Gewichte von 9.7,573 = 68 Kilogrm. belastet werden.

Da die Dichtigkeits-Zunahme der Flüssigkeiten durch äusseren Druck so gering ist, so wird eine Berücksichtigung derselben in den meisten Fällen ü flüssig; d. h. man begeht keinen merklichen Fehler, indem man die tropfbar f sigen Körper als unzusammendrückbar betrachtet.

163. Die höher liegenden Schichten flüssiger Massen drüc wegen ihres Gewichtes auf die tiefer liegenden; dieser Dru pflanzt sich in Folge der Beweglichkeit der Theile (160) n allen Richtungen bis zu den festen Wänden der Behälter fort wird von diesen mit gleicher Stärke zurückgegeben. Irgend e Theilchen im Innern der Wassermasse, wenn es sich in Ruhe findet, erleidet folglich von jeder Richtung her einen gleich s ken Druck und gibt denselben nach jeder Richtung zurück. Punct der Gefässwand empfängt und gibt wieder denselben Dru wie das Wassertheilchen, welches damit in Berührung steht. der Punct eines in die Flüssigkeit eingetauchten festen Körp muss sich, sobald das Gleichgewicht hergestellt ist, auf diese Weise verhalten, und kann daher als ein Theil der Gefässw angesehen werden.

164. Die Oberfläche schwerer Flüssigkeiten in we Behältern bildet für die Bedingung des Gleichgewichtes eine wa rechte Ebne, bis zu deren Höhe hin Gefässe von jeglicher F vollständig ausgefüllt werden.

Die wagerechte Oberfläche des Wassers wird der Wasserspiegel auch das Niveau genannt.

Der Spiegel der grossen Wasserbehälter unserer Erde, der Meere, fällt der wagerechten Erdoberfläche zusammen und besitzt also die Gestalt d Kugeloberfläche.

165. Die Wasserspiegel in zusammenhängenden (communi cirenden) Gefässen liegen nach eingetretener Ruhe stets in der ben wagerechten Ebne.

Dieser Lehrsatz ist eigentlich nur eine Erweiterung des vorhergehen Denkt man sich in einen offnen Wasserbehälter *a b* an irgend einer Stelle

9. feste Wand *d c* eingeschoben, so kann dadurch im früheren Gleichgewichtszustande nichts geändert werden, weil jeder Punct dieser Wand von den benachbarten flüssigen Theilen gedrückt wird und ihnen Widerstand leistet, gerade so wie es mit denjenigen Wassertheilen der Fall war, deren Stelle er eingenommen hat. Diese Behauptung bleibt wahr, welche Gestalt die Wand haben und bis zu welcher Tiefe sie eingesenkt worden seyn mag. Zwei zusammenhängende Behälter lassen sich aber immer als ein einziger betrachten, der durch Einschieben fester Wände in zwei Abtheilungen getheilt worden ist.
eses Satzes ist: dass, wenn mehrere Gefässe im Zusammenhange ır in eines derselben Wasser gegossen wird, es sich gleichwohl in ɛt, und dass Ruhe nicht eher eintreten kann, als bis es sich in allen zu ırechten Höhe über die wagerechte Bodenfläche erhoben hat, mögen rch gebildeten Wassersäulen selbst lothrecht stehen oder nicht, mag lmässig oder unregelmässig seyn, mögen sie gleiche oder verschieesitzen. — Leitung des Wassers durch Röhren; Quellen; artesische Springquellen; Verbreitung des Wassers durch poröses Erdreich; Auf dem Princip der communicirenden Röhren beruht auch die einer Wasserwage (Canalwage, Quecksilberwage), eines Nivellird. h. eines Werkzeuges, welches dazu dient, sich der Lage der ne zu versichern.

issige Theile, die in gleicher Tiefe unter dem Wasserh. in demselben wagerechten Querschnitte liegen, immer die Gestalt des Gefässes seyn mag, gleichen ɯhalten. Denselben Druck erleiden die anliegenden Gefässwand.

id ein Theilchen in dem betreffenden Querschnitte, sobald Ruhe, pflanzt den Druck, der darauf wirkt, nach allen Seiten, mithin r wagerechten Richtung gleichförmig fort. Die Bedingung des es erfordert also, dass alle Theile in demselben Querschnitte auch ch erleiden und zurückgeben.

e wagerechte Bodenfläche eines cylindrischen, mit gefüllten Gefässes hat einen Druck auszuhalten, der em Gewichte der darin enthaltenen Flüssigkeit, nämlem Gewichte einer Wassersäule, deren kubischer Inen wird, indem man den Quadrat-Inhalt der Bodenfläche stande des Wasserspiegels darüber multiplicirt.
ıgerechte Ebne, die man sich durch den Cylinder gehat einen Druck auszuhalten, der gleich ist dem Gedarüber stehenden Wassers. Der Druck auf verschierechte Querschnitte ist also ungleich; er nimmt zu in rhältnisse zur Tiefe derselben unter dem Spiegel.

r Druck auf die wagerechte Bodenfläche eines beliebig Gefässes wird gefunden, indem man ihren Flächener lothrechten Höhe der darüber stehenden Flüssigkeit n Gewichte der kubischen Einheit dieser Flüssigkeit cirt.
ɔk auf eine wagerechte Ebne, welche man sich an

beliebiger Stelle durch eine flüssige Masse gelegt denkt, i oben und unten gleich, und entspricht seiner Grösse nac Gewichte einer Säule derselben Flüssigkeit, die den wager Querschnitt zur Grundfläche und die lothrechte Höhe des S der Flüssigkeit darüber zur Höhe hat. Dieser Druck ist g abhängig von der Form der Gefässe.

Der Druck, welchem nur eine einzige Stelle in dem wagerecht g Querschnitte unterworfen ist, wirkt auf alle übrigen Theile desselben jeder Richtung mit gleicher Stärke. Nun denke man sich in die beliebi teten Wasserbehälter einen oben und unten offnen Glascylinder *g h*, z

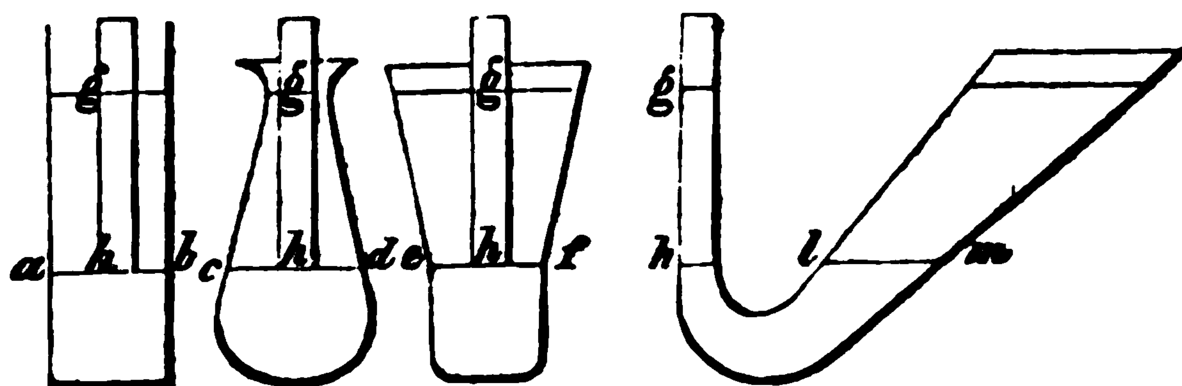


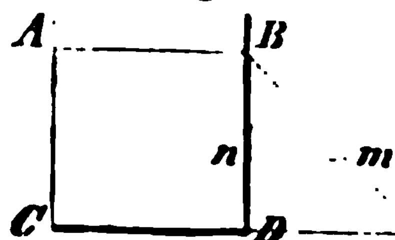
Fig. 30.

eingesenkt; das frühere Gleichgewicht kann dadurch nicht gestört werd aber einleuchtend, dass die durch den Umfang des Cylinders bei *h* begrän den Druck der Wassersäule *g h* auszuhalten hat; demselben Drucke m lich jede gleich grosse Fläche bei gleicher Tiefe unter dem Spiegel un seyn. Die Querschnitte *a b*, *cd*, *e f* und *l m* bei gleichem Quadrat-In gleicher Tiefe unter dem Spiegel, haben demnach, was immer die l Gefässe sey, einen gleichen Druck zu erleiden, dessen Grösse zu der lot Höhe *g h* (der Wasserhöhe) in geradem Verhältnisse steht.

Die Wassersäule *g h* hält der übrigen Wassermasse das Gleichgew man die Oeffnung bei *h* vor dem Einsenken des cylindrischen Rohrs dünnen Platte bedeckt, die das Eindringen des Wassers verhindert, diese mit einer Gewalt angepresst, die dem Gewichte der Wassersäule *g* gleich ist. Zieht man eine feste Wand durch den übrigen Theil des I z. B. durch den Querschnitt *l m*, so muss dieselbe, um nicht gehoben z einen Widerstand leisten können, der an Grösse gleich ist dem Gewic Wassersäule von der Höhe *g h* und der Grundfläche *l m*. Man kann Weise vermittelst einer Wassersäule von geringer Weite, aber beträ Höhe einen sehr bedeutenden (hydrostatischen) Druck hervorbringen. dungen hiervon sind die Real'sche Kräuterpresse und der anatomisc (Gehler's Wörterb. 5. S. 137).

169. Die Seitenwände der Behälter erleiden an der V oberfläche gar keinen Druck. Der Druck auf jede tiefer li Stelle steht in geradem Verhältnisse zur Tiefe derselbe dem Spiegel.

Beispiel. Es bezeichne *A B C D* einen Wasserbehälter mit viereckige recht stehenden Seitenwänden, *B D* die Höhe d serstandes. Man trage *B D* = *D b* in die Verl der Bodenfläche und ziehe *B b*. Eine beliebig Stelle *n* der Seitenwand hat einen Druck aus von derselben Grösse, als ob eine Wassersä der Höhe *B n* = *n m* darauf ruhte. Der gesamm *b* des Wassers auf die Seitenwand *B D* entspric dem Gewichte eines prismatischen Wasserkörpers, welcher das recht und gleichschenklige Dreieck *B D b* zur Basis und die Breite der W Höhe hat.

Fig. 31.


e. Es ist der Schwerpunct oder der gemeinschaftliche Angriffspunct r auf die viereckige Seitenwand *B D* wirkender Pressungen zu be- 28).
echnung lässt sich der Beweis führen, dass ebne Gefässwände von lt und Lage (mögen sie senkrecht oder schief stehen), so weit sie r berührt werden, einen Druck winkelrecht auf ihre Fläche erleiden, sse dem Gewichte einer Wassersäule entspricht, welche die vom ührte Wand zur Grundfläche und den Abstand ihres Schwerpunctes l zur Höhe hat.

Den winkelrechten Druck des Wassers auf schief ste- fässwände kann man sich aus zwei Kräften zusammen- orstellen, von welchen die eine in wagerechter, die an- enkrechter Richtung wirksam ist. Die Grösse des wage- ruckes zu beurtheilen, denke man sich in der Richtung durch jeden Punct des Wassers *a*, *n*, *m* u. s. w. der die schiefe Wand *a b* berührt, eine gerade Linie gezogen, man denke sich ferner eine Verticalebne *c d*, welche alle diese parallelen Linien winkelrecht durchschneidet. Könnte der in der Richtung jeder dieser Wasserlinien wirkende Druck sich bis zu der Vertikalebne *c d* fortpflanzen, so würde die s Gesammtdruckes, welchen sie auszuhalten hätte, genau en, dem wagerechten Seitendruck auf die schiefe Wand. Betrachtung gilt mit demselben Rechte für jeden einzel- l einer schiefen Wand, und lässt sich folglich auch auf te Seitenwände ausdehnen. Man wird hierdurch zu dem geführt, den die Erfahrung bestätigt, dass der wage- uck auf einen beliebigen Punct der Seitenwand eines durch einen gleich grossen, aber entgegengesetzten f die gegenüberstehende Seitenwand stets aufgehoben

ung zur Bestimmung des Druckes, wodurch Röhren, die mit Wasser ı Flüssigkeiten gefüllt sind, zersprengt werden. Erklärung, warum ck unter sonst gleichen Umständen dem Durchmesser der Röhren ıl ist.

Wenn sich in der Seitenwand eines Behälters unterhalb els der Flüssigkeit eine Oeffnung befindet, durch welche er ausfliesst, so kann sich an dieser Stelle auf die Ge- selbst kein Druck mehr äussern. Auf die gegenüber- Wand wirkt daher ein Uebergewicht des wagerechten die sogenannte **rückwirkende Kraft**. Ein leicht be- Wasserbehälter wird durch die rückwirkende Kraft in htung, also in entgegengesetzter des ausfliessenden in Bewegung gesetzt. Segner's Wasserrad oder Kreisel- tionsmaschinen; Raketen. Stossen der Gewehre; Zurück- r Kanonen.

Flüssigkeiten von ungleicher Dichtigkeit in zusammen- n Gefässen füllen diese zu ungleicher Höhe an.

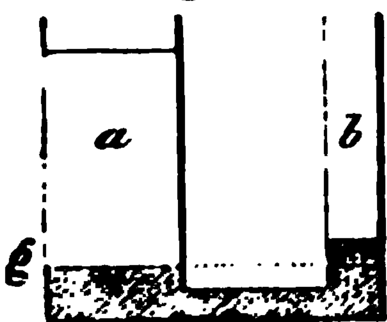


Fig. 33.

Es sey z. B. in beiden Behältern bis zı rechten Ebne *g h* Quecksilber enthalten; stehe in *a* eine Wassersäule, in *b* eine S Quecksilber, so wird letzteres, dessen spe Gewicht 13,6 ist, eine 13,6mal geringe als das Wasser einnehmen. Denn der Dr beide Flüssigkeiten auf gleich grosse St Ebne *g h* ausüben, muss gleich seyn, eine Bedingung, die ı erreicht wird, wenn die Höhen der über *g h* sich erheben sigen Säulen sich verhalten, umgekehrt wie die Dichtigk betreffenden Flüssigkeiten.

Die Dichtigkeit der Flüssigkeiten ändert sich wie die aller Körp Temperatur. Hieraus folgt, dass, wenn man in ein heberf bogenes Rohr *a b* eine Flüssigkeit bringt, und dann den eı kel des Rohrs, z. B. *b*, erwärmt, den andern kalt lässt, d in *b* sich über das in *a* erheben muss. Diese Höhenve beider flüssigen Säulen ist weder von der Gestalt noc Weite der zusammenhängenden Gefässe, und also nur vo derung, welche in der absoluten Dichtigkeit der Flüssig fand, abhängig.

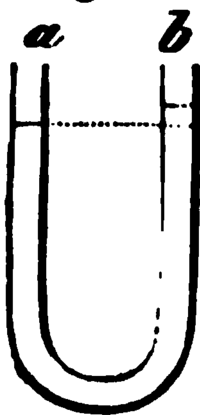


Fig. 34.

Dieses Prinzip ist von Dulong und Petit (Ann. de Ch. et 118) benutzt worden, um die Ausdehnung des Quecksilt hängig von der des Glases zu messen.

Verhalten der Flüssigkeiten gegen darin einge feste Körper.

173. Jeder Körper, der unter die Oberfläche des Wassers ist, hat, gleichgültig in welcher Tiefe er sich befinden ma Druck im entgegengesetzten Sinne der Schwere aus dessen Grösse gleich ist dem Gewichte des durch den ein ten Körper verdrängten Wassers, und dessen Richtung dı Schwerpunct des Raumes geht, woraus das Wasser v worden ist. Dieser aufwärts wirkende Druck wird A genannt.

Im Innern einer flüssigen Masse, die in Ruhe ist, befindet sich Theil *V* in Ruhe, den man, gleichgültig an welcher von welcher Gestalt, als abgeschlossnes Ganzes fü trachten mag. Der wagerechte Druck auf den Umf sich nach allen Seiten auf (166). Irgend eine klein säule *s p*, die einen Bestandtheil von *V* ausmacht, erl Druck, von oben proportional der Höhe *h s*, von unt tional der Höhe *h p*. Der Unterschied beider Pres das Gewicht der Säule *s p*. Dasselbe ist mit allen fenden Wassersäulen der Fall, aus deren Summe der Wasserkörper mengesetzt ist. Dieser erleidet folglich von unten einen Druck, der sein eignes Gewicht grösser ist, als der Druck von oben. Es ist aber tend, dass die Resultirende sämmtlicher aufwärts gerichteten Pressun wie die Resultirende sämmtlicher schweren Theile des Wasserkörper dessen Schwerpunct gehen muss.

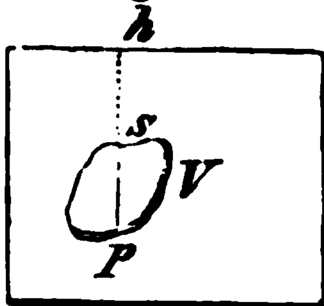


Fig. 35.

Ein fester Körper, den man in das Wasser einsenkt, erleidet von j

nselben Druck, wie die Flüssigkeit, welche er verdrängt hat. Die aller dieser Pressungen, der Auftrieb, ist folglich gleich dem Gewichte gten Wassers, und geht durch den Schwerpunct des Raumes, wel- er ausgefüllt hatte.

rwiesene Lehrsatz heisst nach seinem Entdecker: das Theorem edes.

Venn die Dichtigkeit eines untergetauchten Körpers mit der Flüssigkeit genau übereinstimmt, so wird seinem wichte durch den Auftrieb das Gleichgewicht gehalten. per, insofern er aus gleichartiger Masse besteht, ver- r gleich gut in jeder Lage unter dem Wasserspiegel. Faden befestigt, der über das Niveau hervorgeht, würde n, diesen zu spannen, gerade so, als hätte er sein gan- ht verloren.

örper, die schwerer sind als die Flüssigkeit, unter de- l man sie taucht, verlieren von ihrem Gewichte nur so e verdrängte Flüssigkeit wiegt. Nur ein Theil ihres Ge- ird von dem Wasser getragen. Sie sinken daher unter, nit einer um das Gewicht der verdrängten Flüssigkeit en Schwere. Ihre Fallbeschleunigung wird um so ge- n, je weniger ihr specifisches Gewicht von dem der t abweicht. Fall des Bleies, des Glases, des Wachses im

s ist der Druck, den ein im Wasser untersinkender Körper wäh- les auf den Boden des Gefässes ausübt?

eunigung eines innerhalb einer flüssigen Masse fallenden Körpers leichförmig fortdauernde seyn (112) $c' = c\,\frac{p-\delta}{p}$ (wo p das Ge- rpers, δ das der verdrängten Flüssigkeit bezeichnet), wenn ausser n Auftrieb verminderten Schwere kein anderer Widerstand vor- . Allein der fallende Körper setzt nicht nur seine eigne Masse, die ihn umgebende Flüssigkeit in Bewegung, und der hierzu nöthige vegenden Kraft wächst mit der zunehmenden Fallgeschwindigkeit; m Augenblicke dem Quadrate der Geschwindigkeit proportional. ide Bewegung ist folglich keine gleichförmige sondern eine ab- chleunigte, und es muss endlich ein Zeitpunct eintreten, wo jeder s an Geschwindigkeit durch die gleichzeitig eintretenden Verluste ehoben wird. D. h. der Fall der Körper durch ein wider- flüssiges Mittel verwandelt sich bei unbegränzter Fort- r und mehr in eine gleichförmige Bewegung. Dieser Ueber- ichförmigen Bewegung wird übrigens um so schneller bemerkbar rösser die Oberfläche eines Körpers im Verhältniss zu seiner Masse, ger seine Dichtigkeit verglichen mit derjenigen der Flüssigkeit.

es Absetzen im Wasser fein vertheilter Stoffe. Leichte Körper, wie r Luft. Schweben des Staubes, der Wolken.

örper, die leichter sind, als das Wasser, können, unter- spiegels sich selbst überlassen, dem Auftriebe keinen ruck entgegensetzen und werden daher mit abnehmend gter Geschwindigkeit aufwärts getrieben durch eine

Kraft, die gleich ist dem Gewichte der verdrängten Flüssi weniger dem des untergetauchten Körpers.

Aufsteigen des Holzes im Wasser, der Luft und anderer Gase in allen baren Flüssigkeiten, des Rauches, des Luftballons in der Atmosphäre.

Erwärmtes Wasser erhebt sich in kälterem, weil es ausgedehnter und f specifisch leichter ist. Hieraus erklärt sich die Schnelligkeit, womit \ und andere Flüssigkeiten, wenn auch ihre Leitfähigkeit gering ist, si wärmen lassen, sobald die Wärme am Boden der Gefässe eindringt.

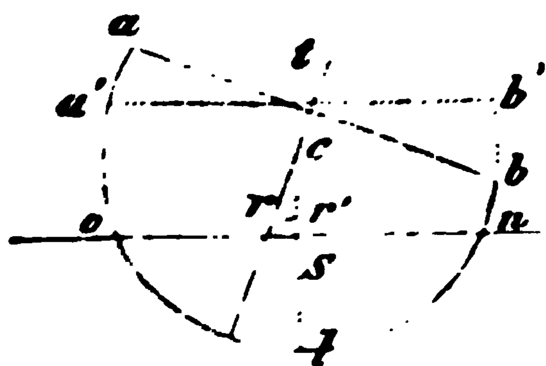
Auf der Eigenschaft leichterer Flüssigkeiten sie in schwereren so lang zusteigen, bis sie den höchstmöglichen Stand eingenommen haben, beruh die Einrichtung einer vorzüglichen Art von Wasserwagen, der Röhrenli und Dosenlibelle.

177. Das Uebergewicht des Auftriebes dauert fort, so lang specifisch leichtere Körper sich ganz unter der Oberfläch Flüssigkeit befindet. Für die Bedingung des Gleichgewichtes daher ein Theil seines körperlichen Raumes über den Spiegel vortreten, so weit, dass sein eignes Gewicht eben so viel be als das des Wassers, welches er noch verdrängt. In diese stande befinden sich die schwimmenden Körper.

Das Gleichgewicht eines schwimmenden Körpers erfo aber noch weiter, dass seine eigne Schwerpunctslinie durch Schwerpunct des Raumes gehe, woraus das Wasser verd worden ist, oder anders ausgedrückt, dass sie mit der Wirku linie des Auftriebes zusammenfalle. Ist ein solches Verhäl noch nicht vorhanden, so stellt es sich nach einer Reihe von (lationen immer von selbst her.

Es sey *a l b* der schwimmende Körper, *r* sein Schwerpunct, *o l n* der tauchte Theil, *s* der Schwerpunct dieses Ra die Linie *s c* bezeichnet demnach die Richtu Auftriebes. Der schwimmende Körper würd in der Lage *a' l b'* im Gleichgewichte bei weil in diesem Falle die Linie *c r' s*, die kungslinie seiner Schwere, mit der Richtun Auftriebes zusammenfallen müsste. Er strebt diese Lage anzunehmen, indem sein Schwe den Kreisbogen *r r'* beschreibt, gleich als er sich um den festen, durch den Auftrieb g genen Punct *c*. Dieser Punct, in welchem die Linie *s c*, die Richtung des triebes, und die Linie *r c*, die Wirkungslinie der Schwere, während der G gewichtslage des schwimmenden Körpers einander durchschneiden, wir Metacentrum genannt. Ein aus der Gleichgewichtslage gebrachter sch mender Körper oscillirt um sein Metacentrum, wie ein Pendel um sein Die Lage dieses Punctes ist übrigens in den meisten Fällen nicht ganz u änderlich; es wird dies nur dann der Fall seyn, wenn, wie in unserem Bei der Schwerpunct des Raumes, woraus das Wasser verdrängt ist, bei jede des schwimmenden Körpers dieselbe Stelle behauptet.

Fig. 36.



Die Gleichgewichtslage eines schwimmenden Körpers ist sicher, oder h gebracht, wird er durch eine Reihe von Oscillationen in dieselbe zurückk wenn sein Schwerpunct unter dem Metacentrum liegt, um so sichrer, je g der Abstand beider Puncte. Dagegen muss er umfallen, wenn durch ei ringe Verrückung aus der Gleichgewichtslage sein Schwerpunct über d tacentrum, z. B. nach *l*, zu stehen kommt.

nmung des specifischen Gewichtes fester und flüssiger Körper auf hydrostatischem Wege.

3. Man findet den kubischen Inhalt eines festen Körpers, man aus seiner Gewichtsabnahme beim Untertauchen unter r, d. h. aus dem Gewichte der verdrängten Flüssigkeit, den lichen Raum der letzteren ableitet. Das absolute Gewicht Körpers, dividirt durch seinen Gewichtsverlust im Wasser, ıglich sein specifisches Gewicht (30).

ıes Princip lässt sich vermittelst einer gewöhnlichen Wage von geer Empfindlichkeit auf zweierlei Weise in Ausführung bringen:

: eine Wagschale ist eigens zum Zwecke dieser Art Untersuchungen iber der Name: hydrostatische Wage) etwas kürzer als die andere, dass sich bequem ein Wassergefäss untersetzen lässt. Sie ist an der eren Fläche mit einem Haken versehen, von welchem ein sehr feiner tindraht herabhängt, der einen wesentlichen Theil des Apparates ausrht und daher im Voraus ins Gleichgewicht gesetzt werden muss. An sem Drahte wird der Körper befestigt, dessen Volum bestimmt werden l. Es sey z. B. ein Stück Eisenglanz. Zuerst in der Luft abgewogen, iet man 32,12 Gramme; man lässt ihn hierauf in das Wasser eintauchen, ergibt sich ein Gewichtsverlust, zu dessen Ausgleichung in die kürzere ıale 6,13 Gramme zugelegt werden müssen. 6,13 Gramme Wasser sind 3 C. C.; so viel beträgt also der räumliche Inhalt des gewählten Körrs. Sein specifisches Gewicht ist $\frac{32,12}{6,13} = 5,24$.

Körper, die leichter sind als das Wasser, befestigt man in einer Zange n Platin oder Silber, die von der Schale herabhängt, im Voraus unter isser tarirt und schwer genug ist, den davon ergriffenen Körper ebenls unter Wasser zu halten. Z. B. ein Stück weisses Wachs wog 11,919 amme, das Gewicht des verdrängten Wassers betrug 12,3 Grm.; daher cifisches Gewicht $= \frac{11,919}{12,3} = 0,969$.

Glasgefäss mit weiter Oeffnung lässt sich mittelst eines konisch einchliffenen Stöpsels dicht verschliessen. Damit letzterer, wenn das Ges mit Flüssigkeit ganz angefüllt ist, doch immer zu gleicher Tiefe einken kann, ist es rathsam, wenn auch nicht unumgänglich nöthig, denselben Länge nach fein zu durchbohren. Dieses Gefäss mit reinem Wasser gelt, wiegt z. B. . . . . 120,102 Gramme.
Stückchen Glas, dessen specifisches Gewicht man kennen will, zuerst in der Luft abgewogen, entspricht 16,213 „
also beides zusammen 136,315 Gramme.

n öffnet nun das Gefäss, bringt das Glasstückchen hinein, schliesst :der und nimmt alles abfliessende Wasser mit Löschpapier sorgfältig g. Wieder auf die Wage gebracht zeigt, sich ein Gewichtsverlust von 40 Grammen. Er bezeichnet das Gewicht des verdrängten Wassers, oder Cubikcentimeter gelesen, den Rauminhalt des Glasstückes. Daher spesches Gewicht desselben $\frac{16,213}{6,540} = 2,479$.

ıas zweite Verfahren erlaubt eine grössere Genauigkeit in der Ausrung, als das erste, und ist besonders bei der Bestimmung des spechen Gewichtes pulverförmiger Stoffe weit vorzuziehen, weil es die fernung aller etwa dem Pulver anhängenden Luft gestattet. Zu dem le braucht man nur die festen Theile in dem Gefässe selbst mit reinem

Wasser zu mengen und einige Zeit der Siedhitze auszusetzen, od
unter die Luftpumpe zu bringen. Bei noch feuchten Niederschläge
es dieser Vorsicht nicht (G. Rose). Es ist daher zweckmässig,
cifische Gewicht pulverförmiger Stoffe, wo es angeht, so zu be
dass man zuerst den frisch erhaltenen Niederschlag mit reinem
gemengt wiegt, dann abraucht, trocknet und die Wägung in der
letzt vornimmt.

Wenn ein Körper im Wasser löslich ist, so wiegt man ihn in ein
Flüssigkeit von bekannter Dichtigkeit, worin er sich nicht auflös
Weingeist, Terpentinöl u. s. w.

Das auf die eine oder andere Art ermittelte Volumen eines Kö
fordert gewöhnlich eine kleine Berichtigung wegen der mit der Te
veränderlichen Dichte des Wassers. Eine Grm. Wasser entsprich
nur bei 0° einem Cubikcent., bei jeder andern Temperatur nimmt
andern Raum ein, z. B. bei 16° den Raum von 1,000872 C. C. (Taf.
genommen, obige Dichtigkeitsbestimmung des Glases sey bei 16°
worden, so würde das Volumen der 16,213 Grm. Glas nicht 6,540
6,54 × 1,000872 = 6,546 C. C. ausmachen. Diese Berichtigung
nöthig, wenn das specifische Gewicht des Körpers auf das des Wa
der Beobachtungs-Temperatur bezogen werden soll.

Eine zweite, bei specifischen Gewichtsbestimmungen vorkomm
rection bezieht sich darauf, dass die Körper beim Abwägen in
um ein Geringes zu leicht gefunden werden. Hiervon kann je
später die Rede seyn.

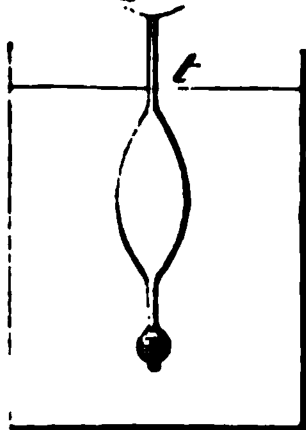
**179. Die specifischen Gewichte ungleich dichter Flüss
verhalten sich wie die ungleichen Gewichtsabnahmen, we
in diese Flüssigkeiten versenkter fester Körper erleidet. I
cifische Gewicht einer Flüssigkeit wird folglich gefunden
man den Gewichtsverlust eines darin untergetauchten,
gestalteten Körpers durch den Verlust, den derselbe K
reinem Wasser erleidet, dividirt.**

Kennt man den kubischen Inhalt des untergetauchten Körpers, so
aus der Abnahme seines Gewichtes durch einfache Division das Ge
kubischen Einheit der Flüssigkeit ableiten. Auf diesem Wege hat L
Gineau mittelst eines sehr genau gemessenen Cylinders von Messing
wicht von 1 Cubikdecimeter Wasser bei 4° bestimmt, und nannte es Kil

Mit Beibehaltung desselben Princips kann das specifische Gewicht
Körper auch ohne Hülfe der hydrostatischen Wage, vermittelst ein
deren Apparates bestimmt werden, welcher Senkwage oder Ge
Aräometer genannt wird und von Fahrenheit erfunden worden is

Dieses Werkzeug ist wie Fig. 37 gestaltet, und am besten von
untere, kugelförmige Ende enthält Quecksilber,
Schwerpunct möglichst herabgesenkt und dadurch d
gehäuse gestattet wird, in der aufrechten Stellung zu
men. Oben trägt es eine kleine Schale. Es geht in reine
nicht unter, aber sein Gewicht (P) ist so regulirt, d
noch eine gewisse Anzahl Gewichtstheile (p Grm.) in
gelegt wird, es gerade bis zu dem Puncte t des sel
cylindrischen Stieles, der Gefäss und Schale verbindet

Fig. 37.



Angenommen, die unbelastete Senkwage wiege $P =$
und man habe $p = 8{,}85$ Grm. in die Schale geben m
der Punct t die Oberfläche des reinen Wassers berü
ganzes Gewicht der verdrängten Flüssigkeit $P + p = 30{,}65$ Grm. In
dern Flüssigkeit, z. B. in einem Gemische von Weingeist und Wasser
man nur $p' = 3{,}5$ Grm. zuzulegen. Dasselbe Volum dieser andern F

[…]g also nur $P + p' = 27{,}3$ Grm. Daher das specifische Gewicht dieses wein[…]geistigen Gemisches $\frac{P + p'}{P + p} = \frac{27{,}3}{30{,}65} = 0{,}8907$.

Das Gewichts-Aräometer kann auch als Wage benutzt werden. Man senkt […] dem Ende in eine beliebige Flüssigkeit, und sieht zu, wie viel Gewichts[…]theile aufgelegt werden müssen, bis der Punct t im Niveau einspielt. Man […]legt sodann den abzuwiegenden Körper in die Schale, und nimmt von den […]gewichten so viel heraus, als nöthig ist, damit der Punct t wieder einspielt. […] gesuchte Gewicht ist hierdurch gefunden.

Wenn der untere Theil der Senkwage die Form einer Schale erhält, so lässt […] damit auch der Gewichtsverlust bestimmen, den ein darauf abgewogener […]per im Wasser erfährt. Man trägt ihn zu diesem Zwecke aus der oberen in […] untere, unter Wasser befindliche Schale, und sieht, wie viele Gewichtstheile […]auf zugelegt werden müssen. Sie geben unmittelbar das Gewicht eines dem Körpers gleichen Volums Wasser. Diese Verbesserung hat Nicholson […] Instrumente angebracht.

80. Ein schwimmender Körper von unveränderlichem Gewichte […]t in ungleich dichten Flüssigkeiten zu ungleicher Tiefe ein; […]h die Volume der Flüssigkeiten, welche er in diesen verschiede[…] Fällen verdrängt, besitzen sämmtlich gleiches Gewicht, nämlich das des schwimmenden Körpers. Dieser Körper sey ein hohler Cylinder von Glas (Fig. 38.), dessen unteres Ende man durch Eingiessen von Quecksilber hinreichend beschwert hat, um ihn in lothrechter Stellung schwimmend zu erhalten. Dieses cylindrische Rohr sey von unten herauf in 200 gleiche Abtheilungen getheilt; in reinem Wasser sinke es bis zu dem Theilstriche 100 ein, in einer andern Flüssigkeit bis zu dem Theilstriche 80, in einer dritten bis zu 150, so folgt, dass 100 Volumtheile Wasser so viel wiegen wie 80 Volumtheile der zweiten, oder wie 150 Volumtheile der […]n Flüssigkeit. Setzen wir das Gewicht von 100 Theilen […]er $= 1$; 80 Theile der zweiten Flüssigkeit wiegen auch $= 1$; […]olumtheile derselben müssen $\frac{100}{80} = 1{,}25$ wiegen. Ebenso […]t sich das Gewicht von 100 Volumtheilen, d. h. das speci[…] Gewicht der dritten Flüssigkeit $= \frac{100}{150} = 0{,}667$.

[…]ittelst der beschriebenen einfachen Vorrichtung findet man […]durch blosses Ablesen die ungleichen Volumina verschiedener […]igkeiten, welche gleiches Gewicht besitzen, und durch eine […]e Division der abgelesenen Zahlen in 100, die specifischen […]ichte derselben Flüssigkeiten. Gay-Lüssac hat diesem […]ente, dessen Erfinder er ist, den Namen Volumetre gegeben. […]olumeter bildet die einfachste und zugleich rationellste Art […] der praktischen Physik höchst wichtigen Instrumente, die […] dem Namen Scalen-Aräometer, oder auch schlechthin […]meter bekannt sind.

Volumter in der Gestalt eines Glascylinders, wenn sie einen ziemlichen Grad von Empfindlichkeit, d. h. einen nur geringen Durchmesser besitzen sollen, sehr unbequem im Gebrauche und für die Bedingung grosser Genauigkeit sogar sehr schwierig ausführbar. Man pflegt daher nur zu dem oberen Theile des Instrumentes, so weit die Scale reichen soll, ein dünnes cylindrisches Rohr zu nehmen, den unteren Theil aber weiter und kürzer zu machen, ungefähr so, wie


Fig. 39.

Fig. 39. es zeigt. Der weite Abstand der mit Quecksilber gefüllten Kugel vom Bauche des Glasgefässes ist nothwendig, damit es, selbst wenn der ganze cylindrische Theil aus der Flüssigkeit hervortreten sollte, in senkrechter Stellung schwimmen kann. Im Uebrigen wird die so veränderte Vorrichtung wie das cylindrische Rohr gebraucht. Man denke sich z. B. vom unteren Ende an gerechnet bis zum Puncte 100, bis zu welchem das Aräometer in reinem Wasser von 16° Temperatur einsinkt, den ganzen Raum in 100 Abtheilungen gebracht; 50 von diesen Abtheilungen kommen auf den oberen cylindrischen Theil, die andern 50 auf den unteren nicht cylindrischen Körper. Das so eingerichtete Werkzeug wird dienen können, um Flüssigkeiten zu wiegen von der Schwere des Wassers bis zur doppelten Dichtigkeit desselben. Wie verfährt man aber, um den Theilstrich 50, welcher das Instrument in 2 gleiche Volumtheile scheidet, ausfindig zu machen, oder wie überzeugt man sich bei einem bereits fertigen Volumeter, ob es richtig getheilt ist? — Zu dem Ende bedarf man, ausser dem reinen Wasser, noch einer zweiten Flüssigkeit von genau bekannter Dichtigkeit. Concentrirte Schwefelsäure, wegen ihres grossen specifischen Gewichtes und wegen der Leichtigkeit, sie immer von derselben Dichtigkeit zu erhalten, ist besonders hierzu geeignet. Das specifische Gewicht dieser Säure ist 1,85; folglich ihr Volumetergrad $\frac{100}{1,85} = 54$. Das Volumeter muss in concentrirter Schwefelsäure bis zum Theilstrich 54 einsinken, oder zwischen diesem Puncte und dem Einsenkungspuncte in reinem Wasser müssen $100 - 54 = 46$ gleiche Abtheilungen liegen. Diese Theilung kann nun nach Befinden auch über 100 oder unter 54 fortgesetzt werden. Gesetzt, die zweite Prüfungsflüssigkeit entspricht nicht einem ganzen Volumetergrade. Man habe z. B. Schwefelsäure von 1,5 specifischem Gewichte angewendet. Von dieser Säure sind $\frac{110}{1,5}$ oder 66,7 Raumtheile an Gewicht gleich 100 Theilen Wasser. In diesem Falle bemerke man, wie vorher, die beiden Einsenkungspuncte am Halse des Instrumentes, und messe ihren Abstand von einander mit dem Zirkel; man findet z. B. 51 Linien. Wie viele Linien der Theilstrich 50 von 100 entfernt ist, lässt sich hieraus durch Rechnung finden, indem man die Proportion setzt:

$$(100 - 66,7) : (100 - 50) = 51 : x; \text{ es ist } x = 76,6 \text{ Linien.}$$

Es gibt noch andere Mittel, das Volumeter zu graduiren oder auf seine Richtigkeit zu prüfen; das angeführte ist das einfachste und praktisch am leichtesten ausführbare.

Die Unterabtheilungen der Scale werden am besten auf dem Glasrohre selbst angebracht; meistens begnügt man sich jedoch damit, dieselben auf einen Papierstreifen aufzutragen, welchen man sodann, mit der eingetheilten Seite nach Aussen, in das Rohr so einschiebt, dass die durch direkte Beobachtung gefundenen und auf dem Rohre bemerkten Puncte mit den entsprechenden der Papierscala zusammenfallen. Damit sich das Papier später nicht mehr verschieben kann, wird es mit etwas Siegellack an das Glasrohr befestigt und zuletzt das obere offne Ende des letzteren zugeschmolzen.

Sollen mit dem Volumeter auch solche Flüssigkeiten geprüft werden, die leichter sind als Wasser, d. h. in welchen es tiefer einsinkt, so müsste der cylindrische Stiel über den Theilstrich 100 hinaus genügend verlängert werden

ıber sehr leicht der Uebelstand ein, dass der cylindrische Theil
ınd das Werkzeug sich nicht mehr bei allen Einsenkungen loth-
.us diesem Grunde ist es in der Regel zweckmässiger, für leichtere
ein besonderes Volumeter anzuwenden, das so eingerichtet seyn
:r Theilstrich 100, der Einsenkungspunct in reinem Wasser von
nteren Ende des Halses befindet, d. h. dass der ganze tiefer lie-
100 Abtheilungen entspricht. Aufwärts wird dann fortgezählt
u. s. w. Je nach dem Grade der Genauigkeit, den man zu erstreben
ı man den ganzen Umfang von den schwersten bis zu den leich-
keiten auch auf 3, 4 und mehr verschiedene Werkzeuge vertheilen,
lich nach ganz ähnlichen Grundsätzen eingetheilt sind, und zu-
ımen gleichsam ein sehr langes cylindrisches Rohr vorstellen.
ı Fällen wird man jedoch mit zweien, einem für Flüssigkeiten, die
. einem für solche, die leichter sind als Wasser, ausreichen.

ıan aus den Anzeigen des Volumeters durch eine sehr einfache
ı specifischen Gewichte übergehen kann, so hat man es doch für
:en, Aräometer so zu graduiren, dass sich die specifischen Ge-
eprüften Flüssigkeiten unmittelbar ablesen lassen. Dergleichen
werden Dichtigkeitsmesser genannt. Sie sind nie viel in
ommen. Ausführlicheres über diese Instrumente findet man im
ch der Chemie, Artikel Aräometer.

/olumeter ist in der Praxis bei weitem so verbreitet nicht, als es
t und Zweckmässigkeit seiner Einrichtung, so wie die Leichtig-
führen oder zu prüfen, verdiente. Fast allgemein bedient man sich
:r Aräometer von Beaumé, Cartier, Beck und Anderer. Diese
. Werkzeuge unterscheiden sich in der Form nicht von dem Vo-
sind, wie dieses, in gleiche Grade getheilt. Aber ihre Theilung be-
er wissenschaftlichen Grundlage; sie ist willkührlich gewählt und
rieriger zu controliren.

ımé hat man ein Aräometer für schwere und ein anderes für
;keiten, welche nicht mit einander correspondiren. Bei dem er-
Einsenkungspunct in reinem Wasser von 14° R. mit 0 bezeichnet,
:h nimmt man an, dass es in concentrirter Schwefelsäure bis zu
einsinken soll. Man findet jedoch selten, dass Beaumé'sche Aräo-
schiedenen Werkstätten genau übereinstimmen. Bei dem Aräo-
hte Flüssigkeiten gilt als 0 Punct der Scala die Stelle, bis zu wel-
:m Gemische von 9 Th. Wasser und 1 Th. Kochsalz einsinkt; der
ıen Wassers von 14° R. ist dann mit 10 bezeichnet, und in dieser
ng in immer gleich grossen Graden fortgeführt.

ıeter Cartier ist nur für leichte Flüssigkeiten bestimmt und eine
les vorhergehenden. Der Grad 22 stimmt bei beiden überein, und
ıs ist nach beiden Seiten hin der Raum von je 16° B. (Beaumé)
:ier) getheilt.

ıeter Beck ist ebenfalls eine Nachahmung des von Beaumé,
ie dieses, aus zwei Abtheilungen. Die Scala des für leichte Flüs-
mmten Instrumentes ist die Fortsetzung, gleichsam die Verlänge-
ı für schwere Flüssigkeiten, und hierin liegt der hauptsächlichste
rischen dem Aräometer Beck und dem Aräometer Beaumé.

:ei Aräometer mit willkührlicher Scala in Schriften häufig ange-
en Gewerben noch immer viel angewendet werden, so muss man
ıd insbesondere ist es oft nothwendig zu wissen, welchen spe-
ichten ihre Anzeigen entsprechen. Tafel X. gibt darüber die er-
skunft.

. bisher beschriebenen Aräometern gibt es noch eine andere Art
ger Instrumente, welche sich nur zur Prüfung einzelner Flüssig-
deren Gehalt an irgend einem darin aufgelösten Stoffe sie z. B.
n angeben. Daher der Name Procenten - Aräometer. Alle

unter den Namen: Alkoholometer, Branntweinwage, Wein- m messer, Salzspindeln, Säurenmesser, Laugenwagen, Milchi Zuckermesser u. s. w. bekannten Instrumente gehören zu dieser Kla Anwendung gründet sich stets auf eine vorausgegangene Vergleic specifischen Gewichtes einer Flüssigkeit von gewisser Temperatur n Gehalte an Weingeist oder Salz oder Säure u. s. w. bei verschiedene der Concentration. An die Stelle der durch Beobachtung ermittelten sp Gewichten wird dann der procentische Gehalt selbst an der Scala bem

Die vergleichende Untersuchung, welche einer solchen Graduiru wendig vorausgehen muss, ist jedoch nicht leicht auszuführen. Sie eine Auflösung, welche von dem aufgelösten Stoffe fremdartigen Bests ganz frei ist, eine Temperatur, welche für alle anzustellenden Versi selbe bleibt, und streng genommen, für jedes besondere Mischungsve das auf der Scala verzeichnet werden soll, einen besonderen Versuch. Erfahrung lehrt, dass die Dichtigkeit einer Auflösung mit ihrem proc Gehalte gewöhnlich in keinem regelmässigen Verhältnisse fortschi weiss man z. B., dass die doppelte, dreifache, vierfache Menge Weingei der einfachen Menge Wasser beigemischt wird, nicht auch eine ve mässige Verminderung der Dichtigkeit zur Folge hat, sondern dass letztere nach einem ganz anderen und ganz unregelmässigen Gesetze v Man begreift hiernach, dass die Aräometergrade, welche gleiche Zu- nahme in der Stärke einer Auflösung angeben, nicht nach einem im V bestimmenden Gesetze auf einander folgen, und also nur durch ein Reihe sehr sorgfältig angestellter Versuche aufgefunden werden kön gleichen Versuche sind bis jetzt nur für Gemische von Weingeist u auf eine allen Anforderungen genügende Weise ausgeführt worden. A nur solche Procenten-Aräometer, welche zur Prüfung des Gehaltes v geist und Branntweinen dienen, in der Praxis einen allgemeineren Be wonnen. Die Lehre, den Werth geistiger Flüssigkeiten mittelst eines Ar zu prüfen, führt den Namen Alkoholometrie.

In Deutschland gebraucht man hauptsächlich das Alkoholome Tralles.

Tralles hat im Jahre 1811 im Auftrage der preussischen Regierung umfangreiche alkoholometrische Arbeit ausgeführt, welcher er die Jahre 1794 bekannt gewordenen Gilpin'schen Wägungen weingeis mische zu Grunde legte. Gilpin bestimmte das specifische Gewicht v koholmischungen, die er durch Zusammenbringen von abgewogene Wassers mit abgewogenen Mengen eines Alkohols von 0,825 specifis wichte erhalten hatte, jede nach und nach bei 15 verschiedenen Temp nämlich für jeden 5. Grad zwischen 30° bis 100° F., so dass also die G zahl seiner Bestimmungen 600 beträgt. Diese Daten wurden von Tral durch das specifische Gewicht des wasserfreien Alkohols vermehrt, w bei der Temperatur von 60° F. zu 0,7939 fand, wenn das specifische des Wassers beim Puncte seiner grössten Dichtigkeit als Einheit ang wurde. Tralles zeigte zugleich, dass Gilpin's Normalalkohol, der und auf Wasser von gleicher Temperatur bezogen, das specifische 0,825 hatte, nur 89,2 Gewichtsprocente wasserfreien Alkohol enthielt.

Nach diesen Angaben hat Tralles eine Tabelle be mittelst der man aus dem bekannten specifischen Gewich Weingeistes bei 60° F. (= 12°,44 R. = 15°,55 C.), des halt an wasserfreiem Alkohol in Volumprocenten erfährt. Taf. XI, 1.). Findet sich das specifische Gewicht eines g Gemisches nicht unmittelbar in dieser Tafel, so lässt s Gehalt mit Hülfe der in der dritten Columne gegebene schiede auf folgende Art berechnen: Es sey z. B. 9260 d

achtete specifische Gewicht. Die nächst höhere Zahl, welche sich in der Tafel vorfindet, ist 9275 und entspricht 53 Procent; die nächst kleinere Zahl, 9254, entspricht 54 Procent. Der Unterschied 9275—9254 beträgt 21, der Unterschied 9275—9260 aber nur 15. Wenn nun eine Verminderung des specifischen Gewichtes um 21 Theile einer Erhöhung des Alkoholgehaltes von 1 Volumprocent gleichkommt, so wird eine Verminderung von nur 15 Theilen einer Vermehrung des Alkoholgehaltes von nur $^{15}/_{21}$ = 0,71 Volumprocent entsprechen. Jenes Gemisch von 9260 Gewicht enthält also 53,71 Volumprocent Alkohol.

Aus dieser Tafel kann man auch, wenn das specifische Gewicht eines Weingeistes bekannt ist, den Alkoholgehalt desselben in Gewichtsprocenten finden. Z. B. die specifische Gewichtszahl 9260 sagt: dass ein Volum dieses Weingeistes 9260 wiege; 100 Volume desselben werden folglich 926000 wiegen. Ein Volum wasserfreier Alkohol wiegt 7939; 53,71 Volume wasserfreien Alkohols müssen also das Gewicht 7939 × 53,71 = 426404 besitzen. Es bleibt daher nur die Frage zu lösen: Wenn 926000 Gewichtstheile Weingeist 426404 Gewichtstheile reinen Alkohol enthalten, wie viel wird in 100 Pfund desselben Weingeistes enthalten seyn? Man findet 46 Pfund; der Rest von 54 Pfund ist Wasser.

Durch eine Rechnungsweise, welche die umgekehrte der hier angegebenen ist, hat Tralles aus der ursprünglich nur nach Gewichtstheilen bekannten Zusammensetzung der alkoholischen Gemische den Gehalt derselben in Volumprocenten abgeleitet und auf diesem Wege No. 1. der angehängten alkoholometrischen Tabelle entworfen.

Der Gebrauch dieser Tafel beschränkt sich jedoch auf die Temperatur von 60 ° F. der zu prüfenden Flüssigkeit. In Fällen, wo ein Weingeist diese Temperatur nicht besitzt, lässt sich sein Werth vermittelst der zweiten oder dritten Tabelle bestimmen. In dieser Tabelle sind für jeden 5ten Grad der Fahrenheit'schen Scala die Veränderungen ausgedrückt, welche das specifische Gewicht eines Weingeistes bei diesen Temperaturen erfährt; und zwar sind diese specifischen Gewichte so angegeben, wie man sie durch Wägung der Flüssigkeiten in einem Glasgefässe, oder durch Einsenkung eines Glas-Aräometers in dieselbe findet, d. h. ohne die Ausdehnung oder Zusammenziehung zu beachten, welche das Glas durch die Temperaturveränderung erleidet. Der Grund dieser Vernachlässigung ist: um bei den Branntweinproben ebenso verfahren zu können, d. h. der Nothwendigkeit überhoben zu seyn, die kleinen Umfangsveränderungen des Aräometers, die eine Folge des Temperaturwechsels sind, in Rechnung zu ziehen.

Beide Tafeln, No. 2. und No. 3., unterscheiden sich dadurch von einander, dass man aus No. 2. erfährt: wie viel Maas absoluten Alkohols von 60° F. ein weingeistiges Gemisch, wenn

es bis zu 60° F. oder 12°,5 R. erwärmt oder
würde, auf je 100 Maas enthalten müsste; wä
gen No. 3. angibt: wie viel Maas absoluten Al
60° F. in je 100 Maas eines Weingeistes, be
peratur, wobei man sein specifisches Gewi
men hat, wirklich enthalten sind. Mit Hülfe de
bestimmt man das, was die Stärke einer geistiger
genannt wird, mit Hülfe der anderen ihren wahre
gehalt, bezogen auf die Normaltemperatur von 60°
Branntweinfabrikant, welcher seine Waare zu irgend
der Stärke liefern, oder nach seiner Stärke versteuern
hierauf mittelst der zweiten Tafel. Handelt es sich
von irgend einem Quantum Weingeist, dessen Tempe
von 60° abweicht, den wirklichen Werth zu erfah
Tafel 3. die verlangte Auskunft.

Der Unterschied beider Tafeln ist indessen meh
interessant, als von grosser Bedeutung für die Prax
Vernachlässigung desselben kann nur bei concentrir
und selbst dann nur bei Abweichungen von mehr als
der Normaltemperatur von 60° F. zu einem Fehler fü
Volumprocent übersteigt.

Der Gebrauch dieser Tafeln ist übrigens leicht
und ganz ähnlich dem der ersten Tafel, nur dass di
angedeuteten Zwischenrechnungen hier noch weit h
kommen und auch von grösserer Wichtigkeit sind. S
nungen, wenn auch ohne Schwierigkeit ausführbar, we
wohl, sobald sie sich häufig wiederholen, unbequ
Grundlage der zweiten Tafel hat daher der auch als S
rühmlichst bekannte Mechanikus Dr. Körner in Jen
vierte berechnet, welche die Stärke spirituöser Flüss
mittelbar, und zwar mit einer wenigstens für die mei
der Praxis zureichenden Genauigkeit anzeigt, und in
überdies die Temperaturangaben auf die in den Ge
meisten verbreitete Réaumür'sche Scala beziehen.

Die mittelste, mit Normaltemperatur von 12°,5 R.
bene Abtheilung der 4. Tabelle correspondirt mit T
enthält in der ersten Spalte die specifischen Gewichte
ger Flüssigkeiten von verschiedener Stärke; den ent
Gehalt an absolutem Alkohol gibt die zweite Spalt
procenten, die dritte in Gewichtsprocenten an.

Bei jeder Temperatur über oder unter 12°,5 R. än
specifische Gewicht des Weingeistes; der dieser
Dichtigkeit entsprechende, scheinbare, d. h. ohne
tigung des Temperaturwechsels sich ergebende Geha
procenten findet sich, wenn man in der wagerechten

r mit dem veränderten Temperaturgrade bezeichneten Spalte ergeht. Der Gebrauch der Tabelle ist nunmehr leicht einzusehen. n hat z. B. bei der Temperatur von 17 ° R. das specifische Gecht einer spirituösen Flüssigkeit gleich 9254 gefunden; dieser ütigkeit entsprechen 54 Volumprocente; da dies jedoch nur scheinbarer Gehalt ist, so suche man die Zahl 54 in der mit 'R. überschriebenen Spalte, und fahre von der Stelle, wo sie vorfindet, in wagerechter Richtung bis zur Spalte der wahren mprocente; man findet dann, dass der wirkliche Gehalt der üften Flüssigkeit nur 52 Procent beträgt. Wäre die Beobachstemperatur nicht 17 ° R., sondern 20 ° R. gewesen, so würde 54 in der entsprechenden Spalte nicht vorfinden; die nächst sere Zahl 54,4, welcher der wahre procentische Gehalt von ugehört, ist um 0,4 zu gross; die wirkliche Stärke der geen Flüssigkeit beträgt folglich 50,6 Volumprocent.

Der Zweck der dritten Spalte der mittelsten Abtheilung, welche wahren Gewichtsprocente enthält, wird ebenfalls durch ein spiel am deutlichsten werden. Es sollen mit Hülfe eines 75gräen Weingeistes durch Zusatz von Wasser 20 Maas eines Weinstes bereitet werden, der eine Stärke von nur 45 Grad besitzt. n ersieht man aus der Tabelle, dass 100 Grm. des 75grädigen eingeistes 67,95 Grm. absoluten Alkohol und 32,05 Grm. Wasser, 00 Grm. des 45grädigen aber 37,89 Grm. Alkohol enthalten. 37,89 rm. Alkohol sind mit 62,11 Wasser verbunden; auf 67,95 Grm. lkohol, um daraus 45grädigen Weingeist zu machen, kommen lglich $\frac{62,11.\ 67,95}{37,89} = 111,38$ Wasser; mit diesen 67,95 Grm. kohol sind aber bereits 32,05 Wasser zu 100 Theilen 75grädigem eingeist verbunden, müssen also noch 79,33 Grm. zugesetzt rden. 79,3 Grm. Wasser sind eben so viele Cub. Cent. — 1 C. C. ritus von 75 ° wiegt 0,8765 Grm.; 100 Grm. desselben sind thin $\frac{100}{0,8765} = 114,1$ C. C., welche, mit 79,3 C. C. Wasser vercht, 193,4 C. C. Weingeist von 45° geben. Es bleibt somit nur h die Frage zu lösen: Wenn 193,4 Maastheile dieser verden Mischung 114,1 Maastheile Spiritus von 75 ° enthalten, viel kommt auf 20 Maas? Man findet $\frac{114,1.\ 20}{193,4} = 11,8$ Maas.

Tabelle der Gewichtsprocente ist zu allen derartigen Berechn desshalb nothwendig, weil der Wassergehalt geistiger igkeiten aus dem in Volumprocenten bekannten Alkoholgeerselben nicht unmittelbar ersichtlich ist.

e vier im Vorhergehenden erläuterten alkoholometrischen sind nur anwendbar, wenn das specifische Gewicht der gkeit bereits gefunden ist; mag dies nun direkt mittelst des

Dichtigkeitsmessers, oder mittelst des Volummessers un leichten Division, oder endlich durch ein Aräometer mit w licher Scala und Benutzung der Tafel XI. geschehen seyn.

Um die Prüfung weingeistiger Flüssigkeiten noch n erleichtern, hat man die für die Normaltemperatur von 1 geltende Tabelle des procentischen Gehaltes an Alkohol a Aräometer selbst aufgetragen, und zwar findet man gew die Tafel für die Volumprocente mit derjenigen für die Ge procente auf demselben Instrumente neben einander, de dass man die Stärke eines Weingeistes durch blosses Ein dieses Alkoholometers unmittelbar erfährt. Die Scala der procente wird gewöhnlich nach Tralles, die der Gewi cente nach Richter genannt, weil Richter der Erste w cher versucht hat, die Stärke des Weingeistes durch ein Arä und nach Hunderttheilen des Gewichtes zu bestimmen.

Die Einrichtung beider Alkoholometerscalen gründet s den Satz, dass die Dichtigkeiten verschiedener Flüssigkeit verhalten umgekehrt wie die Räume, welche das eintau Alkoholometer verdrängt. Nennen wir z. B. das specifische G des Wassers bei seiner grössten Dichte = 1; das Volu Flüssigkeit, welches das eintauchende Alkoholometer ve = 10000. Bei 13°,5 R. vermindert sich sein specifisch wicht auf 0,9991, und es werden jetzt von demselben Instr $\frac{10000}{0,9991}$ = 10009 Raumtheile verdrängt werden. In einem 6 gen Weingeiste, dessen specifisches Gewicht = 0,9126 ist, $\frac{10000}{0,9126}$ = 10957 Raumtheile, in einem 90grädigen $\frac{10000}{0,8332}$ = Raumtheile verdrängt werden u. s. w. Bezeichnet man n Einsenkungspunct in Wasser von 12,°5 R. mit 0, den Einse punct im 60grädigen Weingeiste mit 60, und nennt man stand von 0 bis 60 = 948 (nämlich 957 — 9), so wird ma Auftragung von 2002 — 9 solcher Theile vom 0 Punct aus senkungspunct für 90grädigen Weingeist finden. Auf ähnli bestimmt man alle übrigen Puncte der Scala, vorausgeset das Glasrohr cylindrisch ist, oder doch die etwa darauf menden Unebenheiten die Gränze von $\frac{1}{20}$ des Durchmesse übersteigen. Es ist eben so leicht, auch nur ein Stück der S graduiren, wenn man z. B. Probeflüssigkeiten von 32 und cent Alkohol hat, die Einsenkungspuncte des Instrumentes selben bemerkt und dann nach ihrem absoluten Abstande stände der übrigen Gradestriche berechnet und aufträgt. U Operation zu erleichtern, hat Tralles die relativen A sämmtlicher Grade im Voraus berechnet und in einer Tab sammengestellt (Tafel 5.), deren Gebrauch nunmehr kein

rung bedarf. Diese Tafel bietet besonders grosse Be·
it, um ein bereits fertiges Instrument auf seine Rich-
rüfen. Zu dem Ende greife man z. B. den Abstand von
t dem Zirkel; angenommen, man findet 27 Linien; nun
ıtive Abstand von 0—60, 948; der relative Abstand
aber 1993; es ist ferner 948 : 1993 = 27: ($x = 56,7$);
ıe Abstand von 0—90° muss folglich 56,7''' betragen.
ılst eines mit dem Alkoholometer verbundenen Ther-
assen sich auch die Abweichungen von der Normal-
ohne Rechnung berichtigen. An diesem kleinen Ther-
t die Normaltemperatur von 12°, 5 R. oder 60° F. ge-
nit 0 bezeichnet, und je ein Theilstrich auf oder ab
° F. Diese Eintheilung gründet sich auf die Wahrneh-
s eine Abweichung von 5° F. oder 2°, 22 R. von der
ıeratur auf die Dichtigkeit des Weingeistes ungefähr
Einfluss hat, wie eine Verschiedenheit von 1 Volum-
ı Alkoholgehaltes. Findet man demnach, dass während
ȝ eines Weingeistes das Quecksilber z. B. 3 Theilstriche
t, so muss von dem beobachteten Grade 3 abgezogen
and dagegen das Quecksilber 3 Theilstriche unter 0, so
ılbe Zahl dem beobachteten Grade zugefügt werden
ieses Verfahren ist zwar nicht ganz genau; bei wein-
lischungen von mittlerer Stärke wird man jedoch durch
g desselben keinen Irrthum von mehr als 2, höchstens
ines Volumprocentes begehen.
ussac's hunderttheiliges Aräometer hat eine ganz ähn-
ıhtung wie das Aräometer von Tralles. Auch dieses
gibt den Gehalt des Weingeistes in Volumprocenten,
ür die Normaltemperatur von 12° R.
iometer wird häufig mit Vortheil angewendet, um aus
ischen Gewichte verdünnter Säuren und Alkalien den
ırth derselben zu bestimmen. Mehrere zu dergleichen
gen gebräuchliche Tabellen sind unter Tafel XII. zusam-
, und ohne weitere Erklärung verständlich. Auch diese
ndet man zuweilen auf den Aräometern selbst aufge-

ıhem Zwecke ein Aräometer benutzt werden mag, so
Gebrauche desselben einige Vorsichtsmaasregeln zu
igen, ohne die man auf keine richtigen Resultate rech-
Das Gefäss, in welches die zu prüfende Flüssigkeit ge-
l, muss wo möglich von hellem Glase, hoch und ge-
ıug seyn, dass das Aräometer frei darin spielen kann.

---

hriften zur Verfertigung sämmtlicher Arten von Aräometern finden
tung zur Bearbeitung des Glases an der Lampe von Dr. F. Körner.
ast Schmid.

Der Hals des Instrumentes muss bis zum Einsenkungspuncte netzt seyn, oder, was dasselbe bedeutet, die Flüssigkeit, wori schwimmt, muss sich rund um den Hals, gerade so wie an Wänden der Gefässe, hinaufziehen, weil, wenn dies nicht Fall ist, es nicht tief genug einsinkt. Man muss daher Sorge gen, den Stiel immer rein zu erhalten und besonders vor dem brauche ihn nicht mit fettigen Händen anfassen. Das Aräom darf aber auch nicht über den Einsenkungspunct hinaus nass w den, wie es z. B. geschehen wird, wenn man, anstatt dassel vorsichtig in die Flüssigkeit zu senken, es hinein fallen läss denn durch das über jenem Puncte anhängende Wasser wird d Gewicht des Werkzeugs und folglich auch die Tiefe, zu welch es einsinkt, vergrössert.

Beim Ablesen des Grades muss man das Auge zuerst tie halten und dann so weit erheben, dass der untere Spiegel Flüssigkeit eben verschwindet. Es ist dies das zuverlässig Mittel, den Einsenkungspunct richtig zu finden.

Von der Capillarität oder den Wirkungen der Harröhrchenkraft.

181. Die Theile an der Oberfläche einer flüssigen Masse [...] nie denselben Grad der Verschiebbarkeit besitzen als die inne Theile, weil sie nicht wie diese, nach jeder Richtung hinder Wi samkeit gleicher Kräfte ausgesetzt sind. Sie folgen daher ä seren Eindrücken nicht ganz ohne Widerstand, zeigen vielm wenn auch nur bis zu einer äusserst geringen Tiefe hin, unverke bare Spuren eines gewissen Zusammenhangs. Sie bilden gleichs eine sehr dünne Haut, welche die innere vollkommen flüssige Ma einschliesst, und welche durchbrochen werden muss, bevor Körper in der Flüssigkeit einsinken kann.

Irgend ein fester Körper, der vom Wasser benetzt wird und dadurch ä serlich die Beschaffenheit eines Wasserkörpers von gleichem Umfange annii lässt sich unterhalb des Spiegels dieser Flüssigkeit durch die geringste Kr äusserung nach jeder Richtung hin bewegen; es ist aber eine messbare erfoderlich, um ihn von der Oberfläche abzureissen. Berührt man Queck oder Wasser mittelst eines Stabes, der nicht davon benetzt wird, so senkt die Oberfläche der Flüssigkeit nicht nur unmittelbar an der Berührungss sondern in bemerkbarer Entfernung rings um den Stab herum, ganz so wie Oberfläche eines weichen elastischen Körpers. Nähnadeln die durch das Hal zwischen den Fingern etwas fettig und dadurch unbenetzbar sind, schwim auf dem Wasser. Quecksilber fliesst nicht durch Flor.

182. Die äusseren Theile einer tropfbaren Flüssigkeit wid setzen sich nicht nur der Verschiebung, sondern sie streben au aus der Stelle gerückt, in die frühere Lage zurückzutreten. Sie b sitzen einen gewissen Grad von Elasticität.

Füllt man ein nur am Ende offenes Röhrchen von höchstens 3 Linien Dur messer mit Wasser, und kehrt es dann um, so läuft die Flüssigkeit nicht a sie bildet eine hängende Ebne, aus der man mittelst eines benetzbaren Stäbch einen Hügel hervorziehen kann, welcher nach dem Abreissen des Stäbch

ichwere entgegen sich in die Ebne zurückzieht. Der Grund ist, weil die e der dünnen, zusammenhängenden Schicht, welche die äusserste Ober- bildet, ähnlich wie die Theile einer Scheibe von elastischem Gummi durch ibweichung aus der Ebne, jede Biegung oder Krümmung in ein ungleiches gkeitsverhältniss treten müssen. Sie müssen näher zusammenrücken als seren Theile, wenn durch die Krümmung eine Höhlung oder Concavität ht; ihre Abstände von einander vergrössern sich dagegen, wenn die Krüm- nach Aussen hin, d. h. gegen die Leere, eine Wölbung oder Convexität Daher in beiden Fällen ein Bestreben, die ebne Oberfläche zu erhalten ieder anzunehmen, ähnlich wie ein elastischer Körper, den man biegt, sich zu strecken sucht.

3. Gekrümmte Oberfläche tropfbarer Flüssigkeiten, mag nun ümmung hohl oder gewölbt seyn, befinden sich in einem Zu- elastischer Spannung, und zeigen daher ein Bestreben, sich ien. Dieses Bestreben bewirkt an einem jeden Puncte der ung einen Druck gegen den Mittelpunct derselben, der um sser ist, je grösser die elastische Spannung, wodurch er her- ifen wird, oder, was dasselbe sagt, je stärker die Biegung. Druck vermehrt sich also, wenn der Halbmesser des Krüm- bogens kleiner wird.

. Ein Tropfen Flüssigkeit ist ringsum von einer dünnen, bis m gewissen Grade zusammenhängenden Schicht umgeben, Theile sich in einem elastisch gespannten Zustande befinden. echen nun verschiedene Stellen dieser gekrümmten Ober- Kugelabschnitten von ungleich grossen Krümmungshalbmes- o muss auch an diesen verschiedenen Stellen ein ungleicher nach Innen entstehen; der am stärksten gespannte Theil des s muss sich aufbiegen, so lange bis überall einerlei Krüm- nd ein gleicher Spannungszustand eingetreten ist, d. h. bis pfen die Gestalt einer Kugel angenommen hat.

ildung kugelförmiger Tropfen vermöge eines gespannten Zustandes der ie lässt sich einsehen, ohne dass man nöthig hat, irgend eine von der Masse ausgehende Anziehung zu Hülfe zu nehmen; eine Mitwirkung, nahme überdiess durch die Erfahrung auf keine Weise gerechtfertigt em, wie man weiss, die gegenseitige Anziehung flüssiger Theile nur bei rung, d. h. auf unmessbar geringe Entfernung hin, wirksam ist. Auch n innerhalb einer flüssigen Masse nehmen die Kugelgestalt an, unge- er eine Anziehung, die vom Mittelpuncte der Kugel ausgeht, gar nicht ist. Sehr häufig erheben sich Luftblasen theilweise oder ganz über die e einer Flüssigkeit, noch umgeben von der consistenteren, elastischen en eigenthümliche Beschaffenheit sich übrigens am deutlichsten in der se ausprägt.

Die Kraft, womit die Tropfen die kugelförmige Gestalt zu en suchen, ist so gross, dass kleine Tropfen auf Flächen, sie nicht benetzen, z. B. Quecksilbertropfen auf Glasplatten assertropfen auf fettigen und mit Hexenmehl bestreuten, ch auf glühenden Metallflächen, sich ungeachtet des Wider- ihres Gewichtes nicht merklich abplatten. Grössere Tropfen en sich zwar, und bei einem Durchmesser von 12—14 Par. liert sich die Krümmung in der Mitte ganz. Die Masse wird

aber gleichwohl durch die Wirksamkeit des stark gebogene des in kreisrunder Gestalt zusammengehalten. Versucht man, solchen abgeplatteten grossen Quecksilbertropfen zwischen ebnen Glascheiben durch aufgelegte Gewichte noch weiter breiten, so bemerkt man, dass derselbe einen bedeutenden u der Abplattung zunehmenden Widerstand leistet; nach Weg der Gewichte stellt sich sogleich die frühere Gestalt wieder

Der Uebergang kleinerer Tropfen und Blasen in die grösseren, und üb das Zusammenfliessen mehrerer Tropfen zu einem einzigen, beruht auf d Ursache.

186. Wenn die gegenseitige Anziehung der Theile eine sigkeit beträchtlich grösser ist als ihre Adhäsion an den Seite den der Gefässe, dergestalt dass letztere unbenetzt bleiben, s sich das Streben zur Tropfenbildung selbst bei den in Gefäss haltenen flüssigen Massen. Aus diesem Grunde steht z. B. das (silber gewöhnlich von den Wänden der Glasgefässe ab, und Oberfläche verhält sich ähnlich wie ein auf eine ebne Glaspla gossener Quecksilbertropfen. In Gefässen von weniger als 12 Durchmesser verbreitet sich diese vom Rande ausgehende mung bis in die Mitte der Oberfläche, und es zeigt sich ei bung des mittleren Theils über den Rand, der sogenannte vexe Meniskus. In engeren Gefässen und insbesondere in engen Röhren erhält diese Erhebung mehr und mehr die G eines vollkommnen Kugelabschnittes, oder selbst, insofern di häsion des Glases es nicht hindert, die einer Halbkugel. Der vexe Meniskus bewirkt einen Druck gegen die flüssige Masse ein Streben, dieselbe nach jeder Richtung hin zu bewegen, vo cher ein gleicher Druck, z. B. durch eine gleich starke Krüm hervorgebracht, nicht entgegensteht.

Lässt man einen Quecksilbertropfen in ein enges cylindri Rohr eintreten, so nimmt er die Gestalt eines an beiden Enden stark abgerundeten Cylinders an, der bei wagerechter Stellu Rohrs unbeweglich bleibt, dessen Seiten jedoch durch den vo gekrümmten Enden ausgehenden Druck wider die Wände de ses gepresst werden.

Fig. 40.



Ist das wagerecht liegende Rohr, in w das Quecksilber gebracht wurde, konisc doch an einer Seite enger als an der a dergestalt dass die beiden Enden der (silbersäule eine ungleiche Krümmung annehmen müssen (Fig so beginnt eine Bewegung der Flüssigkeit von dem engeren des Rohrs nach dem weiteren hin. Diese Bewegung dau lange fort, bis die flüssige Säule eine Stellung eingenomm bei welcher ihre beiden Endflächen eine gleich starke Con annehmen können.

ird das aus zwei Theilen von ungleicher Weite zusamengesetzte Rohr heberförmig umgebogen, wie Fig. 41., id werden dann beide Schenkel mit dem flüssigen Melle angefüllt, so muss dieses nach eingetretenem Gleichwichtszustande in dem engeren Rohre niedriger sten; aber ganz heraustreten, wie in dem wagerecht lie-, kann es jetzt nicht, sondern es wird nur so lange sinrimirt werden, bis das Uebergewicht der niederdrük- oder der Unterschied der Wirksamkeit beider Condem im weiteren Rohre sich bildenden grösseren hy- Drucke im Gleichgewichte steht.

eine Schenkel so weit ist, dass der mittlere Theil der s enthaltenen Quecksilbers eine Ebne bildet, so kann ite gar kein Niederdruck entstehen; der Höhenunterlen Röhren ist daher jetzt nur von der Stärke der Krümeren Rohre abhängig, und muss unter sonst gleichen m so beträchtlicher seyn, je geringer die Weite des ist.

h dieses eigenthümliche Verhalten in den engsten Röhannten Haarröhrchen (Capillarröhrchen) am hervortritt, so hat man ihm den Namen Capillarigelegt, und umfasst die verschiedenen Aeusserungen ukräfte, worauf dieses Phaenomen beruht, unter dem röhrchenkraft oder Capillarität.

er niederdrückenden Kraft verhält sich wie die Stärke der elasti-; an der Oberfläche, oder auch wie die Stärke der Krümmung. hiedenen, ungleich weiten Röhren, welche aber sämmtlich so eng Gestalt der gekrümmten Oberfläche von der Kugelform nicht ht, die Halbmesser der Krümmungen sich verhalten müssen wie töhren, so lässt sich voraussehen, dass in solchen engen Canälen ungen, den Durchmessern im Innern nahezu, umgekehrt propor-den. So hat man z. B. gefunden, dass in einem Glasrohre von rer Weite das Quecksilber um 4,9 Mllmtr., bei 0,5 Mllmetr. in- 9,8 Mllmtr. niedergedrückt wird. Dagegen in einem Rohre von betrug die Senkung nur 0,84 Mllmetr., während dieselbe nach Regel $\frac{4,9}{4} = 1,2$ Mllmetr. hätte seyn müssen.

senkung des Quecksilbers in Glasröhren von gleichem Durch- immer gleich gross, weil die Adhäsion zwischen beiden Körpern h die Gestalt der Quecksilberkuppe, je nach der Glätte des Gla-; des flüssigen Metalls und der Trockenheit der Luft, eine ver-e zeigt. Wenn das Quecksilber durch aufgelöstes Quecksilber-gt ist, z. B. durch längeres Schütteln oder Erhitzen beim Zutritt rd es zähe flüssig, und dabei nimmt seine Anziehung zum Glase, dass sie dem Streben zur Kugelbildung zuweilen das Gleich-as Quecksilber erhält dann bis an die Röhrenwand hin eine ebne es findet gar keine Depression mehr statt.

tzte Gefässwände verhalten sich hinsichtlich ihrer kung gleichsam wie eine Fortsetzung der Flüssigkeit r oder Weingeist wird daher von den Wänden eines

davon benetzten Glases mit einer der Cohäsion de

Fig. 42.

Theile unter einander ganz gleichen gehalten, und wenn das Gefäss nicht g an der Wand heraufgezogen (Fig. 4 über den Spiegel in der Mitte des Gef bene Wasserrand r s t wird nur durch seiner obersten Theile r getragen, welche ihrerseits du häsion der Wand festgehalten werden. Eine und dieselbe hebt sich daher auf ganz gleiche Weise an den Oberfl festen Körper, welche sie vollständig benetzt, d. h. zu eine Anziehung besitzt, die wenigstens eben so gross jenige ihrer Theile unter einander.

188. Bei geringer Weite der Gefässe verbreiten sich von den Wänden bewirkten Erhebungen bis über die M

Fig. 43.

wodurch die ganze flüssige Oberfläche ei gebogene (concave) Gestalt annehmen mu steht der sogenannte concave Meniskus gleichsam ein Abschnitt von einer Blase. S mung ist um so stärker, je enger das Gefä cylindrischen Röhren von 1 Linie Durch darunter erhält er die Gestalt einer hohlen Halbkugel.

Die flüssigen Theile, welche in der gekrümmten Ob gen, befinden sich in einem Zustande elastischer Spann und äussern daher einen mit der Stärke der Biegung zu Druck gegen die Leere hin, ein Bestreben, sich aufzu die Leere auszufüllen. Allein an den benetzten Wänden der concave Meniskus stets von Neuem. Die Folge wärtsschreiten der Flüssigkeit. Wird z. B. ein wager

Fig. 44.

des, enges und inwe tes Glasrohr (Fig. 44 tenwand eines Gefä gesetzt, dass es mit spiegel in gleiche H so wird die Flüssigk eingesogen, und bewegt sich dem Canale entlang bis desselben, ohne jedoch auszulaufen, denn am Ende ebnet sich der Meniskus, und die Bewegung hört auf.

Fig. 45.

Taucht man das ganze Rohr senkrecht sigkeit (Fig. 45.), so wird dieselbe auch sogen, bewegt sich aber bei genügende Rohrs nicht bis an das Ende desselben f steigt nur so hoch, bis das Gewicht der Säule mit der Cohäsionskraft, womit Rand des Meniskus von der benetzten W zogen und festgehalten wird, im Gle steht. Wenn das Rohr nicht so weit, als hierzu erforder

sserspiegel hervorragt, so erhebt sich die Flüssigkeit im In- bis zu seinem Rande empor, und der Menikus verflächt sich, loch jemals ganz eben werden zu können. Entfernt man das hr aus dem Wasser, so fliesst die enthaltene flüssige Säule nicht aus, sondern kann sich sogar erhöhen, weil die Aktion n anhängenden Tropfens sich zu derjenigen des concaven is addirt.

Umkreis eines cylindrischen Rohrs und mit ihm die Anzahl te, durch deren Anziehkraft die gehobene Flüssigkeit ge- ird, vermindert sich wie der Durchmesser, das Gewicht der en flüssigen Säule aber vermindert sich wie das Quadrat hmessers; in sehr engen Röhren, in welchen das Gewicht skus selbt unbeachtet bleiben kann, steht daher die Erhebung Wände benetzenden Flüssigkeit im verkehrten Verhält- der Röhrenweite. Da also auch diese Erscheinung in den chen besonders auffallend wird, so hat man ihr den Namen r-**Erhebung** gegeben. Ueberhaupt ist es üblich gewor- ganze Klasse von Phänomenen, welche auf der Adhäsion tropfbar flüssigen Körpern und auf der zwischen den Thei- letzteren stattfindenden gegenseitigen Anziehung beruhen, gemeinschaftlichen Ausdrucke **Capillarität** oder **Capil- änomene** zu umfassen.

Gay-Lüssac's Versuchen steigt reines Wasser von 10° Temperatur in n 1 Millmetr. Durchmesser bis zur Höhe von 30 Millmetr. In Röhren /10 und 1/100 Mll. wird es folglich auf 60, auf 300 und auf 3000 Mllm. Die Capillar-Erhebung vermindert sich bei erhöhter Temperatur, und ei verschiedenen Flüssigkeiten ungleich. Z. B. Weingeist von 0,8196 icht und 8°,5 Temp. stieg nach Gay-Lüssac in einem Rohr von ll. Durchmesser 9,18 Mll.; reines Wasser von derselben Temperatur selben Rohr 23,16 Millmetr. Die Weite der Cappillarröhren bestimmte sac aus dem Gewichte des Quecksilbers, welches eine gemessene lben ausfüllte. (Biot traité de physique, I. 440. Auch Gehl. Wört. II. 47.) n zwei ebnen Flächen, getrennt durch Metalldrähte von bekannter gt eine Flüssigkeit nur zur Hälfte der Höhe, welche sie in einem Rohr ürde, dessen Durchmesser dem Abstande beider Ebnen von einander Im Zwischenraume zweier concentrischen Röhren hebt sich die Flüs- derselben Höhe, wie zwischen zwei Ebnen von demselben winkel- tande.

. 46.



Zwischen zwei lothrecht eingetauchten Ebnen, die einen Winkel bilden (Fig. 46.), steigt die Flüssigkeit nicht allenthalben zu gleicher Höhe. Beide Ebnen bilden gleichsam eine Reihe neben einander stehender Röhren, deren Weiten in geometrischem Verhältnisse zunehmen; die Höhe des Standes der Flüssigkeit vermindert sich aber im umgekehrten Verhältnisse des zunehmenden Abstandes. Die Oberfläche der gehobenen Flüssigkeit bildet daher eine lie, die mit dem einen Aste einer Hyperbel übereinstimmt, deren n *o* liegt und von welcher die Linien *oa* und *ob* die Asymptoten sind.

ne Platten, die man einander parallel gegenüber und an Fäden schwe- sser taucht, so dass zwischen beiden eine Capillar-Erhebung eintritt,

bewegen sich mit zunehmender Beschleunigung gegen einander, u
lich zusammen, weil die capillare Aufsaugung dem Gewichte des
schen beiden Platten entgegenwirkt und folglich ein Uebergewic
auf die Aussenseite erzeugt. Aus diesem Grunde bewegen sich k
mende und von der Flüssigkeit benetzte Körper, wie Glaskuge
Kork, Luftblasen u. s. w., gegen einander und werden zuletzt i
gleichbeschaffenen Gefässwand angezogen. Dasselbe geschieht
schwimmende Körper unbenetzt bleiben. Dagegen zwei schwimr
von denen der eine benetzt und der andere nicht benetzt ist, stoss

Ueber Capillarität ist nachzulesen: Die physikalische Theorie
Mile, Pogg. Ann. B. 45. S. 287. Eine Uebersicht von La Place m
Theorie findet man in Biot traité de phy. I. 455. Prisson's Einwi
Theorie von La Place. Pogg. Ann. B. 25. S. 270. B. 27. S. 193.

Zu den Capillar-Phänomenen gehört das Abtrocknen mittelst Tu
papier; das Feuchtwerden poröser Körper, Holz, Tuch, Löschpapi
Thon, trockne Erde, bei der Berührung mit Wasser und die Verb
Feuchtigkeit auf beträchtliche Entfernungen von der Berührungsst
steigen des flüssigen Fettes in den Dochten. Die Kraft, womit viele
organische Stoffe, das Wasser in ihre Poren aufnehmen, und d
dasselbe festhalten, ist ausserordentlich gross; Verkürzen gespann
Benetzen derselben; das Aufquellen z. B. des Holzes, der Hülsenfr
Zersprengen von Felsen durch Einkeilen von trocknem Holze in
brachte Einschnitte und durch Benetzen desselben. Viele Früchte,
Aepfel u. s. w. sind dem grösseren Theile ihrer Masse nach Wasser,
einem Zellengewebe von äusserster Feinheit durch die Capillar
gehalten wird. Auch das Schweben fein vertheilter fester Stoffe in
(die Suspension), so wie das Aufsteigen mancher Salzlös
Wänden der Gefässe, das sogenannte Efflorsciren oder Au
viele andere Erscheinungen, die, ohne von eigentlich chemischen
begleitet zu seyn, doch als letzte Aeusserungen der chemischen
trachtet werden müssen, gehören hierher.

Das Aufsteigen und der Niedergang der Säfte in den Pflanzen
Capillarität allein nicht zurückführen, weil die Capillarkraft all
wegung, aber keinen dauernden Bewegungszustand und keine Cirk
ken kann. (Gehl. Wört. II. S. 53.)

189. Wenn tropfbare Flüssigkeiten, die durch Capill
wegung gesetzt sind, ausfliessen oder überströmen, so i
ein Beweis des Hinzutritts von noch andern Kräften, w
Haarröhrchenkraft allein eine Bewegung über die Grän
capillare Thätigkeit bedingenden festen Körpers hinau
wirkt werden kann.

Die bekannteste derartige Erscheinung ist das Du
oder Filtriren. Das Eindringen der Flüssigkeit in di
Filters geschieht hier durch Capillarität; das Ausfliess
eine Folge der Fortpflanzung des hydrostatischen Druck
Poren des Filters. Es wird hierdurch begreiflich, warum
des Filtrirens durch Vergrösserung des Drucks, z. B. E
über dem Filter stehenden flüssigen Säule, beschleunigt w
Auch Erhöhung der Temperatur befördert gewöhnlich
gang durch das Filter, weil Erwärmen die tropfbaren Fl
in der Regel dünnflüssiger macht. Aus einem ungleiche
Flüssigkeit oder der Beweglichkeit der Theile erklärt e
um verschiedenartige flüssige Körper, unter sonst ga

ht immer gleich schnell durch das Filter laufen. Das Flüssigkeit kann aber auch, je nach ihrer Fähigkeit, Filters zu benetzen, beschleunigt oder aufgehalten das Quecksilber lässt sich nur vermittelst eines starrch die Poren von Wildleder treiben. Wasser, Weininöl, welche dieses Leder benetzen, dringen leicht Adhäsion des Wassers zur Materie dieses Filters ist ser als die des Terpenthinöls; auf dem mit Wasser beler wird daher das Terpenthinöl zurückgehalten, währt die letztere Flüssigkeit durch die erstere aus den ers vertrieben werden kann.

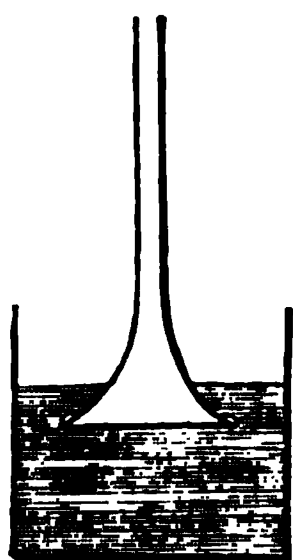
offe, ungeachtet sie gewisse Flüssigkeiten mit Been, besitzen doch so enge Poren, dass sich ein hyDruck nicht mehr durch dieselben fortpflanzen lässt. B. Wasser in ein Gefäss von unglasirtem Thone ird in der Regel nichts durchsickern, ungeachtet sich ände mit der Flüssigkeit vollsaugen. Aehnlich verische Haut. Wenn daher zwei Flüssigkeiten durch isen Thon oder eine andere ähnlich wirkende Scheidesind, so ist ein hydrostatischer Druck, der auf die üssigkeiten wirkt, für die andere so gut wie nicht

e Flüssigkeiten einander chemisch anziehen und zue Scheidewand benetzen, so mischen sie sich in den n, und diese chemische Thätigkeit, indem sie sich n Wand aus gleichmässig nach beiden Seiten hin ähnlich wie in dem Filter der hydrostatische Druck, gt beide Flüssigkeiten, zu einander überzuströmen. verschiedenartige flüssige Körper in der Regel weder osse Beweglichkeit der Theile besitzen, noch gleich e Materie der Scheidewand zu benetzen und in die en einzudringen, so können beide nicht mit gleicher n einander überströmen, obschon die Kraft der chehung, welche die Ursache dieser Bewegung ist, von mit gleicher Stärke wirkt. So kommt es, dass, wenn wie Wasser und wässerige Lösungen, Säuren, Aleist, flüchtige Oele, flüssige Fette und überhaupt je dene, chemisch mischbare Flüssigkeiten durch eine , durch deren Poren der hydrostatische Druck sich zt, zusammentreten können, in den meisten Fällen mehr überströmt, als von der andern.

ch z. B. innerhalb eines Gefässes von porösem Thone , ausserhalb Wasser, so steigt das innere und sinkt iveau, so lange bis beide Flüssigkeiten ganz gleichn sind. Von diesem Zeitpuncte an tritt keine weitere ein, so sehr auch das innere von dem äusseren Ni-

veau verschieden seyn mag. — Man beobachtet ei
Verhalten, wenn man einen offenen, mit Blase überbun
cylinder mit einer Auflösung von Kupfervitriol oder Ko
irgend einer andern wässrigen Lösung theilweise an
reines Wasser stellt; stets wird sich das Volum de
vermehren, wenn schon ein Theil davon zum Wass
Befindet sich die Salzlösung ausserhalb, das Wasser in
überbundenen Cylinders, so senkt sich die innere Flüs
die äussere steigt. Erwärmen befördert dieses Ue
Ueberbindet man ein mit Weingeist ganz angefülltes Gl
und umgibt es mit Wasser, so schwillt die Blase an,
Wasser eintritt, als Weingeist herausgeht; denn der
wenn auch flüssiger als das Wasser, benetzt doch d
unvollkommen.

Das Ueberströmen, chemisch mischbarer durch por
wände getrennter Flüssigkeiten zu einander, über des
liche Ursache man längere Zeit in Ungewissheit war,
chet, um es von den Capillar-Phänomenen zu un
Endosmose genannt. Eigentlich ist es
Dütrochet, sondern Fischer in Bresla
Erscheinung zuerst beobachtet und unt
(Pogg. Ann. B. XI. S. 126.).



Um die Endesmose zweier verschieden
keiten zu studiren, ist es zweckmäss
derselben in ein trichterförmiges Gefäss
dessen untere weite Oeffnung mit Blase
wird, und dessen oberer Theil aus ei
cylindrischen Rohr besteht.

V. Von den physikalischen Eigenschaften und der gasförmigen Körper überha

190. Die Gase besitzen im vollkommensten Grad
Eigenschaft, welche das eigentliche Wesen der Flüs
macht, nämlich: Beweglichkeit der Theile. Sie mü
gleich den tropfbar flüssigen Körpern, jeden gegen ir
Theil ihrer Masse gerichteten Druck nach allen Richtun
veränderter Stärke fortpflanzen (160.).

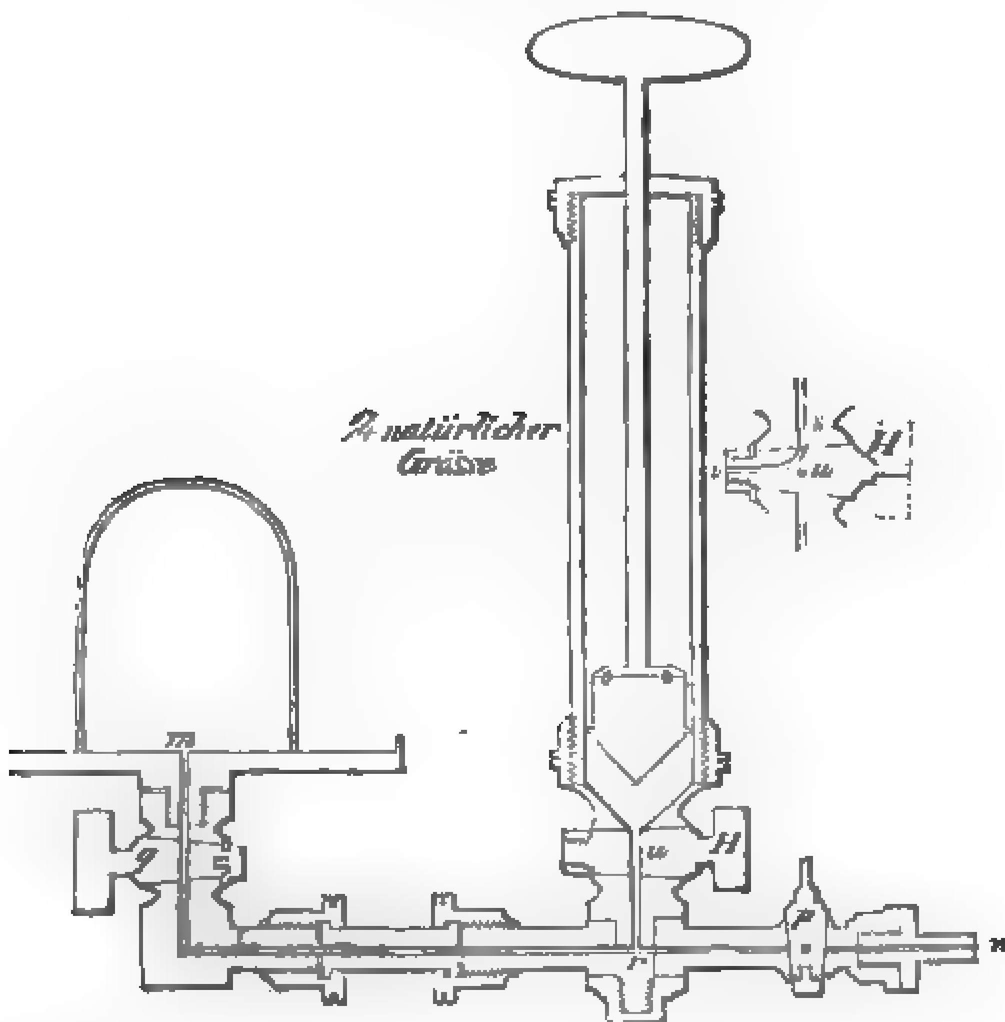
Das hydrostatische Grundgesetz mit allen seinen Folgerunger
diese auf keine andere Eigenschaft als die Beweglichkeit der T
hat also für die Luft dieselbe Geltung wie für das Wasser.

191. Die Gase unterscheiden sich von den tropfba
Körpern durch ihre grosse Zusammendrückbark
durch ihre Ausdehnsamkeit oder das Bestreben,
freiwillig zu vergrössern (40.). Vermöge der letzteren
verbreitet sich die Luft in jedem ihr dargebotenen Raum

n vollständig aus. Ist Ruhe eingetreten, so äussert sich die ehnsamkeit als ein Druck, welchen ein Gastheilchen gegen andere ausübt, womit eins das andere abstösst; derselbe Druck zt sich auf die Wände des Gefässes fort, worin der gasförmige er eingeschlossen ist. Dieser Druck wird **Spannkraft** (Expansivkraft) genannt.

92. Auf der Ausdehnsamkeit beruht eine für das Stadium der schaften der Luft unentbehrliche Geräthschaft, die **Luftpe.**

e Luftpumpe ist ein hohler, inwendig sehr glatter Cylinder, ein dicht anschliessender Kolben auf- und nieder bewegt werann. Das eine (gewöhnlich obere) Ende des Cylinders (des nnten Stiefels) kann ganz offen seyn, das andere (untere) steht nur durch eine sehr enge, mittelst eines Hahns verbare Oeffnung in Verbindung mit Aussen. (Fig. 48.).



Luftpumpe kann gebraucht werden, um Luft in einem gen Behälter zu verdünnen, oder auch um sie darin zu verdichten. m *H* ist, um zu beiden Zwecken dienen zu können gewöhnlich durchbohrt. Die eine Durchbohrung *u* (siehe die Fig.) leitet zu gen Kanale *nm*. Durch eine Viertelsumdrehung des Hahns wird nd *s* der zweiten Durchbohrung *sv* vor die enge Oeffnung m Ende des Stiefels gebracht und dadurch eine Verbindung

des innern Raums mit der äussern Luft bewerkstelligt. Der K
n m ist durch zwei Hahnen, *p* und *q*, mit einfacher Durchbo
verschliessbar. Der Arm *r n* desselben dient, um nach Bedür
einen Behälter luftdicht anschrauben zu können; der Arm *r m* des
nals öffnet sich in die Mitte einer eben geschliffenen Platte (des
lers), worauf Behälter mit abgeschliffenem und fettig gemach
Rande, sogenannte Recipienten, z. B. Glasglocken, luftdicht auf
setzt werden können.

Hebt man den Kolben, während der Hahn die in der Zeichn
angegebene Stellung hat, so verbreitet sich ein Theil der im I
nale und in der Glocke enthaltenen Luft in dem Stiefel unterh
des Kolbens. Gibt man hierauf dem Hahn die andere Stellung,
wird die auf diese Weise aus der Glocke entfernte und davon
trennte Luft durch Niederdrücken des Kolbens in die Atmosph
getrieben. Eine Wiederholung dieses Spiels bedingt eine aber
lige Verdünnung der Luft in der Glocke u. s. f., so lange sie v
möge ihrer Ausdehnsamkeit jeden ihr dargebotenen Raum aus
füllen vermag.

Um mittelst der Luftpumpe Luft zu verdichten, verfährt n
umgekehrt, d. h. man hebt den Kolben, während die Durchbohru
s v des Hahns nach oben gekehrt ist. Dadurch füllt sich der Stie
mit atmosphärischer Luft, die dann durch eine Viertelsumdreh
des Hahns in Verbindung mit dem Kanale *n m* gesetzt, und du
den Niedergang des Kolbens in ein bei *n* oder *m* befestigtes
fäss gepresst werden kann.

Der Verschluss des Stiefels der Luftpumpe geschieht nicht
mer durch einen Hahn. Eben so häufig gebraucht man statt
sen zwei Klappen (Ventile), von denen die eine am Boden
Cylinders, die andere im Kolben angebracht ist und welche
beide in gleichem Sinne, z. B. beide von unten nach oben, öff
Hebt man den Kolben, so entsteht unter demselben ein le
Raum; das Bodenventil (Saugventil) wird daher durch die Spa
kraft der Luft in der Glocke aufgestossen, das Kolbenventil da
gen durch die Spannkraft der äusseren Luft fester angedrü
Beim Niedergang des Kolbens geschieht gerade das Umgeke
Wenn Luft verdichtet werden soll, müssen sich, wie leicht ei
sehen, beide Klappen im entgegengesetzten Sinne, nämlich
oben nach unten öffnen. Eine Ventil-Luftpumpe kann daher n
zugleich zum Verdünnen und zum Verdichten der Luft gebrau
werden.

Die Luftpumpe ist im Jahre 1650 von Otto von Guerike in Magdebur
funden, und 1654 von ihm auf dem Reichstage zu Regensburg vorgezeigt
den. Seine erste Luftpumpe hatte Ventile. Guerike hat auch die Eigensch
Luft, sich freiwillig auszudehnen, zuerst beobachtet.

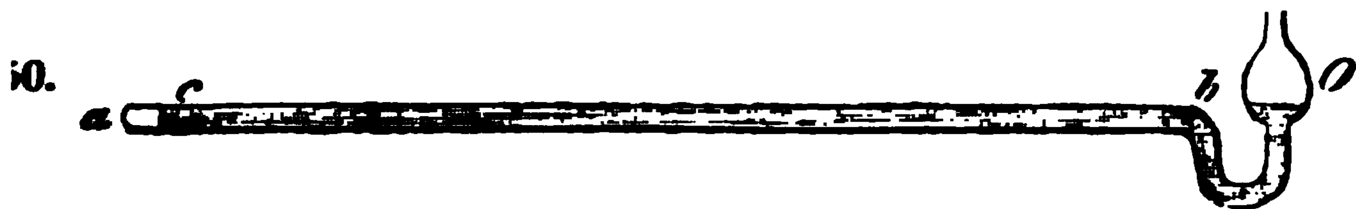
Mittelst der Luftpumpe lässt sich die Zusammendrückbar
und Ausdehnsamkeit der Luft sehr leicht anschaulich mac

eine Schweinsblase, fest zugebunden unter die Glasglocke ge-
l, schwillt während des Auspumpens an, indem das darin ein-
lossene Gas gleich der übrigen Luft in der Glocke sich aus-
oder verdünnt. Mit der zunehmenden Verdünnung der Luft
ıdert sich aber die Gewalt ihres Bestrebens, sich noch weiter
lehnen, daher bei Eröffnung des Hahns *p*, die äussere Luft,
;e ihrer überwiegenden Spannkraft sogleich eingepresst
ıd die Blase wieder zusammenfällt. Aus demselben Grunde
ıe aufgetriebene Blase zusammen, wenn man ihren Gas-In-
telst der Luftpumpe auszieht. Durch Eintreiben eines Gases
: sie dagegen an, weil nunmehr die innere Spannkraft das
ɔwicht erhält.

Bringt man ein Gefäss, wie Fig. 49., das mit Wasser halb angefüllt und mittelst eines Stöpsels geschlossen ist, durch welchen ein offnes Glasrohr mit enger Ausmündung bis unter den Wasserspiegel hinabgeht, unter die Glocke der Luftpumpe und pumpt aus, so wird das Wasser durch die überwiegende Spannkraft der eingeschlossenen Luft mit Gewalt herausgetrieben. Dieselbe Erscheinung lässt sich auch im offenen Luftraume hervorbringen, wenn man zuvor Luft in das Gefäss einpresst und dadurch die innere Spannkraft vergrössert. Heronsball. Das Spritzglas des Chemikers.

ɔ kleine Menge trockner Luft, die in dem engen und in
Unterabtheilungen gebrachten Glasrohr *a b* (Fig. 50.) mit-
ecksilbers abgeschlossen ist und ausserhalb der Luftpumpe
n Raum *a c* ausfüllt, vergrössert ihren Umfang, sobald die

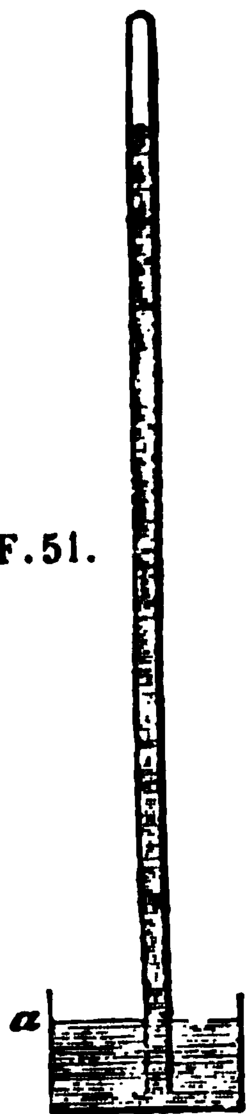
ɔ0.



lem Behälter *o*, der von dem Raume *a c* nur durh dcas flüs-
tall getrennt ist, verdünnt wird. Unter einer guten Luft-
ɔrweitert sich das Volum *a c* um das 300 fache und mehr;
ts gelangt man zu einer Gränze, über welche hinaus, mit-
er gegebenen Luftpumpe, die Verdünnung nicht getrieben
kann. Der schädliche Raum.

Die atmosphärische Luft müsste sich vermöge der abstos-
Kraft ihrer Theile bis ins Unbegränzte ausdehnen, sie müsste
weiten Weltraume zerstreuen, wenn nicht ihrer Spannkraft
inen Widerstand das Gleichgewicht gehalten würde. Dieser
and ist ihr Gewicht. Das Gewicht der Luft lässt sich mit
r Luftpumpe aufs augenscheinlichste nachweisen. Eine hohle,
ige Glasklugel, die mittelst eines Hahns verschliessbar ist,
nachdem ein Theil der Luft daraus entfernt worden, an der

Wage ins Gleichgewicht gebracht. Man lasse sodann du des Hahns die Luft wieder eindringen, die Wagschale, Glaskugel hängt, wird sogleich sinken; diese Gewichtszun aber nur von dem Gewichte der eingedrungenen Luft



F.51.

Da die Luft schwer ist, muss sie auf ihre nämlich auf die feste wie flüssige Erdoberfl ken. Man kann durch folgenden Versuch dass ein solcher Druck wirklich stattfindet. rohr von wenigstens 30 Par. Zoll Höhe, de Ende zugeschmolzen ist, werde mit Queck angefüllt, die Oeffnung mit dem Finger g umgekehrt und in ein von derselben Flüs haltendes, flaches Gefäss eingesenkt. En dann den Finger, so wird die Quecksilbersä um einige Zoll herabsinken, dann aber sich b 28 Zoll senkrechter Höhe in Ruhe stellen. De dem Quecksilber enthält, wenn der Versuch gestellt worden, keine Luft und wird bei hi Neigung des Rohrs wieder ganz von de Metalle ausgefüllt. Die Grundfläche dieser ü sich erhebenden Quecksilbersäule hat das wicht der letzteren zu tragen. Wenn nun j grosse Stück des ebenen Quecksilberspieg denselben Druck auszuhalten hätte, so Gleichgewicht entstehen können, und de ber-Inhalt des Rohrs müsste ausfliessen. Da er zur wird, muss man schliessen, dass die Atmosphäre auf di der Erde einen Druck ausübt, so gross, als ob letzter Quecksilbermasse von 28″ Höhe bedeckt wäre. Demsel ist jeder Körper an der Erdoberfläche, und zwar von her, ausgesetzt (160.).

Flüssigkeiten die leichter sind als Quecksilber, müssen in luftl im verkehrten Verhältnisse ihrer geringeren Dichtigkeit höher ste teres, um dem Luftdruck das Gleichgewicht halten zu können. W das eine Ende eines offnen cylindrischen Rohrs, worin sich ein dic sender, übrigens beweglicher Kolben befindet, ins Wasser taucht, d ben aufzieht, so folgt die Flüssigkeit nach, bis zu 13,599.28 Zoll o senkrechter Höhe über dem Wasserspiegel. Weiter lässt sich das dem Einflusse des Luftdrucks nicht heben, wenn auch der Kolbe steigt. Mit Wasser angefüllte Gefässe, die man in einem weiteren hälter umkehrt, kann man daher (innerhalb der berechneten Grä Rande der Oeffnung herausheben, ohne dass etwas ausfliesst. (Der der Alten). Die richtige Erklärung dieses Verhaltens ist zuerst v lista Torricelli um das Jahr 1644 gegeben worden.

Der Luftdruck lässt sich auch durch Versuche mit der Luftpun schaulich machen. Z. B. die Glasglocke haftet, nachdem die Luf ist, fest an dem Teller. — Wird ein oben offner Recipient mit de halten und die Luft darunter verdünnt, so wird die Hand fest auf Oeffnung angedrückt und kann nicht ohne Anstrengung weggeriss

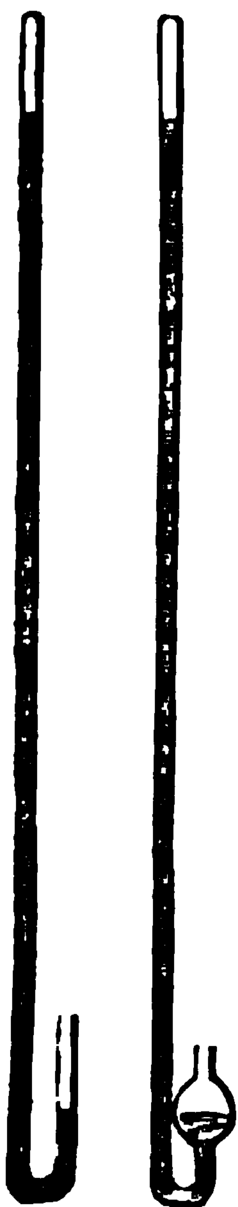
er die Oeffnung des Recipienten gespannte Blase senkt sich während des ens ein; wenn der Durchmesser wenigstens 3—4 Zoll beträgt, wird sie gt. Guerike's Versuch mit hohlen Halbkugeln. In Glasröhren, deren Ende in Quecksilber oder Wasser eintaucht, deren oberes mit dem Re- n verbunden ist, steigt die Flüssigkeit während des Auspumpens. Wie an auf diese Weise eine Flüssigkeit gehoben werden? Warum werden lockere Stoffe durch den Druck der Luft nicht zusammengedrückt? Wird die freie Beweglichkeit des menschlichen Körpers nicht dadurch ge- —? Eine Folge der gleichförmigen Fortpflanzung des Luftdrucks nach htungen hin ist auch die rückwirkende Kraft der ausströmmenden Luft

Nur die am niedrigsten gelegenen Strecken der Erdober- efinden sich unter dem Drucke der ganzen Atmosphäre. egende Gegenden haben nur die über ihnen schwebenden chten zu tragen. Der Luftdruck muss daher in den höheren der Atmosphäre abnehmen. In der That findet man, dass cksilber aus dem Rohre (Fig. 51.) zum Theil ausfliesst, auf hohe Berge getragen wird.

ste Versuch dieser Art wurde (1649) durch Pascal's Veranlassung Gipfel des Puy de Dome in der Auvergne angestellt. Torricelli's ass die Luft Gewicht besitze, erhielt dadurch eine Vervollständigung, n Zweifel mehr Raum gestattete. Uebrigens hat schon Aristoteles hwere der Luft aus dem Umstande geschlossen, dass Lederschläuche Blasen an Gewicht zunehmen.

. Barometer. Eine Geräthschaft, ähnlich dem luftleeren, eine bewegliche Quecksilbersäule enthaltenden Glasrohr (Fig. 51.), welche gebraucht werden kann, die Grösse des Luftdrucks zu messen, wird Barometer oder Luft-Schweremesser genannt. Wenn das untere offene Ende des Rohrs, wie in Fig. 42., in ein weiteres Gefäss eintaucht, so heisst es Gefäss-Barometer. Heber-Barometer nennt man es, wenn der untere Theil des Rohrs heberförmig umgebogen ist, wie in Fig. 53., dergestallt, dass der kurze, offne und also dem Zutritt der Luft ausgesetzte Schenkel desselben selbst die Stelle des Gefässes vertritt. Ist der untere umgebogene Theil des Rohrs zu einem Gefässe erweitert worden, wie in Fig. 54., so führt es die Namen Kugel-Barometer, Flaschen-Barometer, auch wohl gemeines Barometer und Wetterglas.

Fig. 53. Fig. 54.



Man hat schon frühzeitig die Bemerkung gemacht, dass die Höhe der Barometer-Säule nicht nur mit der Höhe des Beobachtungsortes wechselt, sondern auch an einem und demselben Orte, von Tag zu Tage, ja von Stunde zu Stunde bald grösseren, bald geringeren

Schwankungen unterworfen ist. Da dieser Wechsel mit dem übrigen Beschaffenheit unserer Atmosphäre im Zusammenha stehen muss, und man also hoffen durfte, durch die Kenntniss ersteren Aufschlüsse über die Ursachen des letzteren zu ge nen, so ist das Barometer sehr bald nach seiner Erfindung ein viel gebrauchtes physikalisches Instrument geworden. Auch man demselben, theils in der Absicht, um seine Empfindlichkeit zu mehren, theils um seine Anzeigen mit grösserer Bequemlich oder Sicherheit und Schärfe beobachten und messen zu kön im Laufe der Zeit, ausser der schon erwähnten, sehr mannic tige andere Formen gegeben. Sie sind grösstentheils, als unzw mässig, wieder in Vergessenheit gerathen.

Die Güte und Brauchbarkeit des Barometers hängt haupts lich davon ab, dass das nicht unter zwei Linien weite Roh reinem Quecksilber gefüllt sey, dass der Raum über dem Qu silber (die Torricelli'sche Leere) keine Luft enthalte und dass Werkzeuge ein richtiger Maassstab beigegeben sey, der eine naue Messung des lothrechten Abstandes des oberen von dem teren Quecksilberspiegel gestattet. Dieser Maassstab muss d selbst in lothrechte Stellung gebracht werden können und Quecksilbersäule ihrer ganzen Länge nach begleiten.

Reinigung des Quecksilbers: durch Destillation und nachheriges Schütteln Schwefelammonium, um beigemengtes Quecksilberoxyd zu entfernen, oder längeres Schütteln mit reiner, stark verdünnter Salpetersäure. In beiden F wird das Quecksilber zuletzt mit destillirtem Wasser ausgewaschen un trocknet. Einfüllen des Quecksilbers in das ausgetrocknete Rohr durch Trichter mit sehr feiner Oeffnung. Auskochen des Barometers. Durch Austr nen des Rohrs und Quecksilbers unter der Luftpumpe mittelst Schwefelsäure Einfüllen im luftverdünnten Raume lässt sich das Auskochen sehr erleic ja ganz ersparen.

Bei den besten Gefässbarometern ist das Glasrohr seiner ganzen Länge geradlinigt, möglichst cylindrisch und in der Mitte des ebenfalls cylindris Gefässes befestigt. Es ist mit einer Hülse von Messing umgeben, wora Theilung des Maasses aufgetragen ist. Diese Hülse ist am oberen Theile, u Kuppe der Quecksilbersäule sichtbar zu machen, an zwei gegenüberste Seiten 2 — 2,5 Linien breit und 12 — 13 Zoll hoch ausgeschnitten. Durch d Spalt, den man zwischen Fenster und Auge richtet, lässt sich der Sta Quecksilbers leicht beobachten. Die genauere Einstellung geschieht mitte nes Nonius. Während des Gebrauchs wird das Instrument wie ein Pend einer Achse aufgehängt, die über der Mitte der Hülse angebracht ist und d Lager selbst wieder auf einer Axe ruht, welche die Richtung der ersteren re winklicht durchkreuzt. Der Zweck dieser ganzen Anordnung ist, dem Maas die lothrechte Stellung zu sichern. — Zum Zwecke sehr genauer Messungen der Stand des Quecksilberspiegels im Gefässe nicht als unveränderlich betr tet werden. Gleichwohl muss der 0 Punct der Scala (des Maassstabs) stet der Ebne desselben zusammenfallen. Dieser Bedingung kann bei manche rometern nur durch Rechnung genügt werden; bei andern gestattet die A nung des Instrumentes, die erforderliche Berichtigung durch einen Versu bewerkstelligen. Die verschiedenen Mittel, welche man zur Erreichung letzteren Zweckes angewendet hat, bilden die wesentlichste Verschiedenh nach Hörner, Fortin und Andern benannten Gefässbarometer. (Gehl. I. S.

Das Heberbarometer erfordert stets eine Messung des Standes beider Quecksilberspiegel. Sein Gebrauch ist daher, so oft grosse Genauigkeit keine ganz nothwendige Bedingung ist, etwas umständlicher, als der des Gefässbarometers. Dagegen ist ersteres viel leichter und bequemer zu tragen als letzteres; es eignet sich daher vorzugsweise als Reisebarometer und Höhenmessbarometer. — Bei den besten Heberbarometern ist das Rohr an beiden Enden, so weit die Schwankungen der beiden Quecksilberspiegel gehen können, genau gleich weit, übrigens wie Fig. 55. gebogen. Durch diese Biegung ist der untere Quecksilberspiegel lothrecht unter den oberen gebracht; ihr Abstand kann leichter übersehen und mittelst eines einzigen, in lothrechter Stellung angelegten Massastabes gemessen werden. Der Maassstab, gewöhnlich ein schmaler Messingstreifen, der das Rohr seiner ganzen Länge nach begleitet, kann mit diesem in einer Hülse eingeschlossen, oder auch auf einem Brette, befestigt werden. Ist die Scala unverrückbar, so befindet sich oben und unten ein Nonius nebst Zeiger oder Visir-Vorrichtung zur genaueren Eintheilung. Man hat aber auch Heberbarometer mit verschiebbaren Scalen; sie ersparen den zweiten Nonius und vereinfachen überhaupt das Messen. Bewegliche Barometerröhren auf unverrückbarer Scala sind weniger zu empfehlen.

Um das Heberbarometer zum Transporte einzurichten, neigt man es, damit die leere Kammer sich ganz anfüllen kann; der untere offne Theil des Rohrs wird dann mittelst eines elastischen Stöpsels, am besten von Gummi Elasticum mit Seide umwickelt, und an einem Fischbeinstab befestigt, verschlossen, indem man denselben bis in die Quecksilbermasse herabdrückt. Gay-Lussac sucht bei den nach ihm benannten, sehr verbreiteten Reisebarometern die Schwankungen während des Transportes, so wie das Eindringen der Luft in den oberen Theil dazu verhindern, dass er den Uebergang des Quecksilbers aus einem Schenkel in den andern nur durch ein fast haarfeines Rohr gestattet.

...liche Anordnung bei den Schiffsbarometern, die übrigens zu der Klasse ...ssbarometer gehören. (Gehl. I. S. 777.)

...wierigkeit der richtigen Stellung des Auges beim Messen des Barometers. ...edene Visir-Vorrichtungen, um den Fehlern, die hierdurch entstehen können, begegnen. (Handw. d. Ch. u. Phy. I. S. 680.)

...Flaschenbarometer, unter allen Barometern das am meisten verbreitete ...häufigsten gebrauchte, kann als eine Abart des Gefässbarometers be...werden. Es wird als eigentliches Messwerkzeug gewöhnlich nicht ver... seine Bestimmung ist vielmehr die eines meteorologischen Instrumentes; ...dienen, um aus einer annähernden Kenntniss der eintretenden Schwan...des Luftdrucks Folgerungen auf die bevorstehenden Witterungsverhält...ziehen; daher der Name Wetterglas. Ein eigentlicher Maassstab ist ...niemals angebracht und nur an dem oberen Theile des Brettes, worauf ...te Instrument fest sitzt, ein getheilter Papierstreifen aufgeklebt, der je...inen andern Zweck haben kann, als den, die Grösse der vorkommenden ...ungen mit grösserer Bequemlichkeit zu schätzen.

...i der Durchmesser eines Barometerrohrs weniger als 6 Par. Linien be...äussert die Capillardepression einen Einfluss auf die Höhe der Queck...le, der nicht mehr unbeachtet bleiben kann. Gefässbarometer geben ...ier einen zu niedrigen, Heberbarometer (weil die Krümmung des Me... offnen Theile immer stärker ist, als in der leeren Kammer) einen zu ...and. Um diesen Fehler zu berichtigen, hat man bis jetzt kein anderes ...eres Mittel, als die Vergleichung mit solchen Barometern, bei welchen ...cht eintreten kann, d. h. welche sehr weit (wenigstens 6 Linien weit) ausserdem eine sehr genaue Messung zulassen. Instrumente dieser Art Normal-Barometer genannt. Man zieht Barometer mit engen Röhren oft vor, weil sie wohlfeiler und compendiöser sind und sich besser zum

Transporte eignen. Die Anzeigen derselben sind brauchbar, wenn i für allemal durch Vergleichung mit einem Normalbarometer corrigir

Das auf der Barometerscala aufgetragene Längenmaass ist gewi weder der alt französische Fuss oder das Meter. Ersteres ist nur fi peratur von 16°,25, letzteres nur für die von 0° richtig. Für jede ai peratur hat man daher eine kleine Berichtigung vorzunehmen, die, w terie der Scala, wie gewöhnlich, Messing ist, nach der Formel (62.)

$$x = \frac{(54000 + t)\, b}{54000 + 16,25} \text{ geschieht;}$$

b bedeutet hier den beobachteten Barometerstand, *t* die Temperatu des Maassstabs. Eine hinreichende Genauigkeit gewährt auch die Näh mel $x = b + 0,006\,(t - 16,25)$ für das alt französische Maass, oder $x =$ für das Meter.

Eine zweite Berichtigung erheischt die mit dem Stande des Th veränderliche Dichtigkeit des Quecksilbers, wodurch bei einem und Luftdrucke dennoch ungleich hohe Barometerstände entstehen müsse schiedene Beobachtungen auch in dieser Beziehung vergleichbar ist es nothwendig, sie auf einerlei Temperatur des Quecksilbers zurü Gewöhnlich wählt man hierzu den Schmelzpunct des Eises. Die ab dehnung des Quecksilbers beträgt für jeden Thermometergrad $\frac{1}{5550}$ gemessenen Rauminhaltes, also in unserem Falle der bei 0° gemess metersäule. Der Stand des Barometers von t° auf 0° reducirt, ist i

$$x = \frac{5550\, b}{5550 + t}$$

Wenn die bei t° gemessene Länge von derjenigen von 336''' nicht mehr abweicht, so darf man auch nach der Näherungsformel $x = b - 0,0$ Der dadurch begangene Fehler kann $\frac{2}{100}$ Linien nicht übersteigen.

Ausführlicheres über das Barometer findet man im Handw. d. Cl S. 671; auch in Gehl. Wört. I. S. 759.

196. Der Luftdruck oder eine der Grösse desselben entsp Quecksilberhöhe dient häufig als Maass für solche Pre die unabhängig von der Grösse der gedrückten Fläche b werden sollen. Da aber der Barometerstand fortwährenden kungen unterliegt, so versteht man unter einem At rendrucke vorzugsweise den Druck einer Quecksilbers 0,76 Meter = 336,9 Par. Linien Höhe, oder, was dassel einer Wassersäule von 31,8 Par. Fuss. Es ist dies na mittlere Barometerstand am Meere.

Beispiel: Die Fische in einer Tiefe von 318 Fuss u Meeresfläche sind ringsum einem Drucke von 10 Atm ausgesetzt.

Um den Atmosphärendruck in Gewicht, oder umgekehrt in Atmosphärendruck zu übersetzen, hat man zu merl eine Quecksilbersäule von 0,76 Meter Höhe

für je 1 Q. Centimeter Grundfläche	wiegt			1,0337 Ki
„ „ 1 Q. Decimeter	„	„	„	103,3700
„ „ 1 Paris. Q. Linie	„	„	„	0,0527
„ „ 1 Paris. Q. Zoll	„	„	„	7,5884
„ „ 1 Paris. Q. Fuss	„	„	„	1092,7000

Beispiel: In ein Gefäss von beliebigem Umfange, das mit Flüssigkeit ganz gefüllt ist, werde durch eine Oeffnung von 0,25 Q. Z. Querschnitt ein dicht anliessender Stöpsel mit einer Kraft von 45,5 Klgrm. eingetrieben; so befindet die eingeschlossene Flüssigkeit und ebenso die Innenwand des Gefässes unter einem Drucke von $\frac{45,5}{7,5884 \,.\, 0,25} = 24$ Atmosphären.

Sehr vielen Berechnungen, besonders in älteren deutschen Schriften, ist als ...hö des Atmosphärendrucks eine Quecksilberhöhe von 336 Par. Lin. oder 28 ... zu Grunde gelegt. Keine dieser beiden, übrigens wenig von einander abweichenden Grundlagen hat wirkliche Vorzüge vor der andern; die erstere, nämlich 336 P. L., ist aber in neuerer Zeit üblicher geworden als die letztere.

197. Der Stand des Barometers (Schweremessers) ist nicht ...er ein genaues Maass des Gewichtes der Atmosphäre; er bezeichnet zunächst nur die Grösse ihrer Spannkraft, d. h. die ...sse des Widerstandes, welchen die Lufttheile einem äusseren ...cke entgegensetzen. Man verschliesse den offnen Theil des Instrumentes gegen den Zutritt der äusseren Luft; die Höhe der Quecksilbersäule wird dadurch nicht im geringsten geändert. Verdünnt man aber die innere eingeschlossene Luft und vermindert ...n dadurch ihre Spannkraft, so sinkt das Quecksilber, verdichtet ...n die innere Luft, so steigt das Quebksilber im Barometer.

198. Das Mariottische Gesetz. Die Spannkraft der Luft Fig. 56. steht zu ihrem räumlichen Inhalte in einer sehr einfachen Beziehung, die sich auf folgende Art aussprechen lässt: Bei gleichbleibender Temperatur verhält sich die Spannkraft der Luft direkt wie ihre Dichtigkeit, oder: der Rauminhalt einer gegebenen Luftmenge ändert sich im verkehrten Verhältnisse des äusseren Drucks und ihrer eignen Spannkraft.

Dieses wichtige Gesetz ist fast gleichzeitig von Boyle und Mariotte (um 1670) entdeckt und besonders von Letzterem durch genaue Versuche erwiesen worden.

Ein offnes cylindrisches Rohr von mehr als 30 Zoll Länge, dessen obere Hälfte in gleiche Volumabtheilungen gebracht ist, werde in ein Quecksilberbehälter von entsprechender Tiefe (Fig. 56.) bis an den oberen Rand eingesenkt, so dass es sich ganz anfüllt. Hierauf mit dem Finger bei a geschlossen und allmählig herausgehoben, bleibt es gefüllt, und erst bei einer Höhe von 28 Zoll trennt sich die enthaltene Quecksilbersäule von dem Finger, um fortan diese dem Luftdrucke entsprechende Höhe unverändert zu behaupten. Man wiederhole denselben Versuch, jedoch in der Weise, dass in dem cylindrischen Rohr, bevor es mit dem Finger zugehalten wird, ein Volum Luft zurückgelassen ist. Auch jetzt wird eine Quecksilbersäule mit herausgezogen; sie wird jedoch nie die Höhe von 28 Zoll erreichen, so weit man auch das Rohr erheben mag. Der Grund ist, weil die Spannkraft des eingeschlossenen Luftvolums für sich schon einem Theile des Atmosphärendrucks das Gleichgewicht hält; gerade um so viel muss die innere Quecksilbersäule niedriger stehen, als der Stand des Barometers. Der Unterschied beider Quecksilberhöhen bezeichnet daher die jedesmalige Spannkraft der in dem Rohre oberhalb des Quecksilbers abgeschlossenen Luft. Indem nun das Rohr nach und nach so weit herausgezogen wird, dass der Umfang der eingeschlossenen Luft sich verdoppelt, verdreifacht, vervierfacht u. s. w., findet man, dass die dieser ausgedehnten Luft ent-

Fig. 57. sprechenden Spannkräfte nur ½, ⅓, ¼, u. s. w. des anfän
betragen.

Um die Richtigkeit des mariottischen Gesetzes für verd
beweisen, bedient man sich eines langen, oben offnen Glasr
dessen unterer Theil heberförmig umgebogen, in gleiche V
bracht und zugeschmolzen ist. Eine kleine Quecksilbersäul
kurzen Schenkel enthaltene Luft vor dem Zutritt der äusse
giessen von Quecksilber in den offnen Theil des Rohrs wir
schlossenen Theile abgesperrte Luft verdichtet, dergestal
Hälfte ihres anfänglichen Umfangs bleibt, wenn der senk
unterschied beider Quecksilberspiegel der Barometerhöhe
oder mit andern Worten: wenn der anfängliche Druck si
hat. Auf gleiche Weise wird durch das Dreifache des anfänglic
abgesperrte Luft auf ein Drittel des anfänglichen Volums ve
Die Richtigkeit dieses Verdichtungsgesetzes ist von Dülo
bis zu dem Drucke von 27 Atmosphären geprüft worden. (
XVIII. 441.) Es lässt sich nicht bezweifeln, dass auch weit
dichtungen nach demselben Verhältnisse eintreten, wiewol
bis jetzt keine ganz zuverlässigen direkten Beweise hat.

199. Das mariottische Gesetz gilt nicht blos f
sondern für alle gasförmigen Stoffe; jedoch für j
zu gewissen Gränzen der Verdichtung, die von
deren Natur des Stoffs, so wie von der herrscher
ratur abhängig sind und für deren Bestimmung n
keinen andern Anhaltspunct als die Erfahrung h

Mehrere Gase, wie Sauerstoff, Stickstoff, Wasserstoff,
mariottischen Gesetze, selbst unter der Einwirkung der
sammendrückenden Kräfte, denen man sie bis jetzt unter
zu folgen. Andere verdichten sich, über eine gewisse Gränze hi
als es das mariottische Gesetz verlangt, und gehen bei noch stärk
gen in den tropfbar flüssigen Zustand über. Der hierzu erforderli
um so geringer, je niedriger die Temperatur ist. Beispiel: Zwei g
röhren, die eine mit trocknem schwefligsaurem Gase, die ande
ner Luft gefüllt, wurden mit ihrem unteren offnen Ende in ein ei
chen mit Quecksilber getaucht, Schälchen und Röhren in einen v
cylinder gesetzt, dieser mit Wasser gefüllt und nun, mittelst ein
befindlichen Schraubenpresse, bei einer Temperatur von 21°, 25 (
ergaben sich folgende Verdichtungen (Oersted in Pogg. Ann. B. I

Bei der Luft: 1; 2; 2,28; 2,37; 2,51; 2,97: 3,19.
Bei dem Gase: 1; 2; 2,28; 2,38; 2,53; 3,02; 3,32.

Bei noch grösserem Drucke bildeten sich Tropfen von schwef
den Wänden des Glasrohrs. Schwefligsaures Gas folgt also dem
Gesetze, bei 21°,25, genau nur bis zu 2, 3 Atmosphärendruck.

Durch verstärkten Druck können folgende gasförmige Körp
gegebenen Temperatur tropfbar flüssig gemacht werden:

Namen des Gases.	Temperatur.	Druck in Atmo
Ammoniak	— 33° . . .	1
„	0 . . .	5
„	+ 10° . . .	6,5
Chlor	0 . . .	6,5
Chlorwasserstoff . .	0 . . .	33
Cyan	12,5 . . .	4
Kohlensäure . . .	— 20 . . .	26
„ . . .	0 . . .	36

Namen des Gases.	Temperatur.	Druck in Atmosphären.
Kohlensäure . . .	+ 30 . . .	73
Schweflige Säure . .	— 10 . . .	1
„ . .	+ 7 . . .	2
„ . .	+ 12,5 . . .	3
Stickstoffoxydul . .	0 . . .	44 .

Wenn man sich vorstellt, dass die kleinsten Theile der Gase, vermöge der umgebenden Wärmeatmosphären (48) nach allen Richtungen hin eine gleiche Abstossung ausüben, während andere, entgegengesetzte Kräfte entweder nicht vorhanden oder im Gleichgewichte sind; so gelangt man, unter Voraussetzung gleichbleibender Temperatur oder stets gleicher Abstossungskraft (70.), zu derselben einfachen Beziehung zwischen Dichtigkeit und Spannkraft, welche das mariottische Gesetz kennen lehrt. Allein alle materiellen Theile besitzen ein gewisses Anziehungsvermögen, das bei einer gewissen wechselseitigen Annäherung einen messbaren Einfluss zu äussern beginnt. Diese neue Kraft addirt sich zu dem von Aussen her, wirksamen Druck und bewirkt, dass die Dichtigkeitszunahme mit dem letzteren nicht mehr gleichen Schritt halten kann.

200. Die Umfangsveränderungen, welche gasförmige Körper bei veränderten Drucke erfahren, lassen sich mit Hülfe des mariottischen Gesetzes im Voraus bestimmen. Ein Gasvolum V sey bei dem Drucke B gemessen worden, bei irgend einem andern Drucke b wird es den Umfang v einnehmen, wenn $V : v = b : B$. Daher das gesuchte Volum $v = \frac{V.B.}{b}$

Beispiel: Es sind 1320 C.C. Kohlensäure über Quecksilber in einer Glasglocke (Fig 58.) abgesperrt; der Barometerstand ist 335‴; die Sperrflüssigkeit steht innerhalb der Glocke 23‴ über dem äusseren Niveau; es ist das Volum des Gases bei 336‴ Druck zu bestimmen. Man findet $v = \frac{1320\ (335 - 23)}{336} = 1225{,}7$.

Fig. 58.



Auf gleiche Weise kann man aus der Spannkraft der mittelst einer Luftpumpe verdünnten Luft die Wirksamkeit dieser Maschine, so wie den Grad der Verdünnung erkennen. Die Höhe eines unter die Luftpumpe gebrachten Barometers

[illegible] sey z. B. von 336 auf 1 Linie herabgesunken, so lässt sich hieraus auf eine 336 fache Verdünnung schliessen, insofern der innere Raum durch eine austrocknende Substanz, z. B. concentrirte Schwefelsäure, ganz trocken geworden ist. Mit Hülfe der besten Luftpumpen kann man trockne Gase bis zu $^1/_{373}$ und weiter verdünnen.

Um den mit der Luftpumpe erreichten Grad der Verdünnung zu messen, bedient man sich gewöhnlich eines abgekürzten Heberbarometers, das den Namen Verdünnungs-Manometer erhalten hat (Fig. 59.).

Aehnliche Apparate, die man gebraucht, um die Spannkraft verdichteter Luft, zu messen, werden Verdichtungs-Manometer genannt; sie haben bald die Gestalt eines Heberbarometers, bald die eines Gefässbarometers, und unterscheiden sich von demselben wesentlich nur dadurch, dass das Rohr oben offen ist; sie zeigen also nur an, um wie viel der innere Druck mehr beträgt als der der äusseren Luft. Der Windmesser der Gebläsemaschinen ist ein Verdichtungs-Manometer, der jedoch gewöhnlich mit Wasser statt mit Quecksilber gefüllt ist. Sicherheitsröhren.

Da die Verdichtung einer gegebenen (z. B. in einem graduirten Glas- durch Quecksilber abgesperrten) Luftmenge im geraden Verhältnisse der

verdichtenden Kraft steht, so kann man die Grösse der letzteren, z.B. di kraft eines mittelst der Luftpumpe comprimirten Gases auch aus dem ersteren ableiten. Messwerkzeuge, deren Einrichtung auf diesem Princi nennt man ebenfalls Verdichtungs-Manometer.

201. Die unmittelbare Anwendung des mariottischen G um aus dem veränderten äusseren Drucke die Volumsverä gen eines gasförmigen Körpers abzuleiten, oder umgekehr so lange gestattet, als die Temperatur, wie hoch oder wie sie übrigens auch seyn mag, sich gleich geblieben ist. Hat volum V das bei der Spannkraft B gemessen ist, seine T tur von T^0 auf t^0 geändert, so bezieht sich ein veränderte b, für welchen man das entsprechende Volum v bei der T tur t^0 ableiten will, nicht mehr auf das ursprüngliche Volum dern auf das, was aus V durch die Erwärmung oder Ab geworden ist. Man muss daher zuerst setzen (71):

$$273 + T : 273 + t = V : x$$

und dann $x : v = b : B$

Beide Proportionen zusammen geben:

$$v = \frac{(273 + t)\ B.\ V}{(273 + T)\ b} \text{ oder auch } = \frac{1 + 0{,}3665\ t)\ B.\ V}{(+ 0{,}3665\ T)\ b.}$$

202. Eine Luftmenge V, bei dem Stande B des Barometer des Thermometers gemessen, erhält, wenn die Temperatu worden, der Luftdruck aber unverändert geblieben ist den

$$v = \frac{(272 + t)\ V}{(273 + T)}; \ (201)$$

Soll nun dieses Volumen v, dem also nach Anna Druck B zugehört, ohne einen neuen Wechsel der Tempe den früheren Rauminhalt V zurückgeführt werden, so b hierzu eines Druckes b, von der Grösse, dass b : B = v

$$b = \frac{v.\ B}{V} = \frac{273 + t}{273 + T}.B$$

Befindet sich die Luftmenge V in einem Behälter m Wänden eingeschlossen, so dass sie bei eingetretener T turveränderung sich weder ausdehnen noch zusammenzieh so ändert sich ihre Spannkraft, gerade so, als wäre sie e dem Wechsel der Temperatur und nachdem sie den Umfa genommen hatte, dem Drucke b ausgesetzt und dadurch früheren Rauminhalt V zurückgebracht worden; d. h. W gasförmiger Körper bei stets gleichbleibend lume von T^0 zu t^0 erwärmt oder abgekühlt wird, v delt sich seine anfängliche Spannkraft B in

$$b = \frac{273 + t}{273 + T}.\ B;$$

oder: die durch Temperaturwechsel bei gleichb

Volume eines Gases veränderten Spannkräfte verhalten sich wie die bei gleichbleibendem Drucke veränderten Volume.

Natürlich kann die Spannkraft der Gase durch Erhöhung der Temperatur nach den angegebenen Zahlenverhältnisse nur dann zunehmen, wenn das Ausdehnungs-Gesetz, so wie es in der Rechnung zu Grunde gelegt worden, richtig ist. Aus der Zunahme der Spannkraft bei ungeändertem Volume eines Gases muss sich daher das Gesetz der Ausdehnung mit derselben Sicherheit ableiten lassen, wie aus der Zunahme des Volums bei unverändertem Drucke. Dieser Weg, den Ausdehnungs-Conflicient der Luft zu bestimmen, ist zuerst von Rudberg eingeschlagen worden, (Pogg. Ann. 44. Die Geräthschaft, deren er sich zu seinen Versuchen bediente eignet, sich zum Gebrauche als Luftthermometer.

93. **Die Wärmemenge, welche ein gasförmiger Körper bei gleichbleibendem Volume zur Erhöhung seiner Temperatur bedarf, ist kleiner als seine specifische Wärme unter constantem Drucke. Der Unterschied ist gleich derjenigen Wärme, welche das Gas zur Erweiterung seines Volums aufnehmen muss und die vom Thermometer nicht angezeigt wird, der sogenannten Ausdehnungswärme (88). Wird der Umfang eines Gases plötzlich erweitert, so muss er die erforderliche Ausdehnungswärme, grösstentheils aus seiner eignen freien Wärme schöpfen; es erfolgt daher Erniedrigung der Temperatur. Findet dagegen eine plötzliche Verdichtung statt, so wird ein entsprechender Theil der Ausdehnungswärme frei, und die Temperatur des Gases erhöht sich.**

Man bringe unter den Recipienten der Luftpumpe ein empfindliches Thermoscop und erweitere rasch den inneren Raum. Das Thermoscop zeigt sogleich eine Erniedrigung der Temperatur, kehrt aber in Folge des erwärmenden Einflusses der Umgebung bald auf den früheren Stand zurück. Jetzt lasse man durch Oeffnen eines Hahns die äussere Luft rasch einströmen, so dass die in dem inneren Raume bereits enthaltene Luft sich wieder verdichten muss. Das Thermoscop zeigt hier vorübergehend eine Erhöhung der Temperatur. Compressionsfeuerzeug. Nebel im Recipienten der Luftpumpe während des Auspumpens. Die Abkühlung der Luft während der Ausdehnung ist so bedeutend, dass feuchte Luft, die man in einem eisernen Gefässe stark verdichtet hat und dann durch eine nicht zu enge Öffnung plötzlich ausströmen lässt, an einer vor die Oeffnung gehaltenen Glasplatte Eis in Menge absetzt.

Man hat die Verdichtungswärme der Gase sowohl aus ihrer Temperatur-Erhöhung während der Verdichtung, wie auch aus der in Folge der Erwärmung erhöhten Spannkraft abzuleiten versucht; zu sehr genauen Resultaten konnte man jedoch auf keinem dieser Wege gelangen, weil die den Gasmengen, worüber man bei dergleichen Versuchen verfügen konnte, mitgetheilte Wärme, wegen ihrer verhältnissmässig zu derjenigen der Gefässwände, stets nur geringen Masse, zu schnell auf die kältere Umgebung überging. Zuverlässigere Resultate erlangte man auf einem Umwege erhalten, indem er den Einfluss bestimmte, welchen die durch Verdichtung frei werdende Wärme gasförmiger Körper auf die Fortpflanzung des Schalls durch ihre Masse ausübt. Das Nähere dieses Verfahrens kann jedoch erst später erörtert werden. Aus Dülong's Untersuchungen geht hervor, dass die Temperatur-Erhöhung durch eine Verdichtung, oder die Temperaturerniedrigung durch eine Ausdehnung von je $^1/_{273}$ des ursprünglichen Volums vorausgesetzt, dass dieses bei 0° und unter 0,76 Metres Druck gemessen beträgt: für atmosphärische Luft, Sauerstoffgas, Wasserstoffgas und vielleicht alle einfachen Gase 0,421 Grad des hunderttheiligen Thermometers;

ferner für Kohlensäuregas 0°,337; Kohlenoxydgas 0°,423; Stickstoffoxydgas 0°,343; ölbildendes Gas 0°,240. Andere Gase sind nicht untersucht worden.

Nun weiss man, dass die Gase für je 1° Temperatur-Erhöhung sich um ½ ausdehnen; wenn demnach die Wärmecapacität der Luft bei constantem Volum zu 1 genommen wird, so ist ihre Capacität unter constantem Drucke 1,421. Eben so findet man das Verhältniss beider Wärmecapacitäten für Kohlensäure 1: 1,337 u. s. f. Man kann hiernach leicht berechnen, wie stark sich ein Gas bei plötzlicher Verdichtung oder Ausdehnung erwärmen oder abkühlen muss. Atmosphärische Luft bei 0° und unter 0,76 Meter Druck auf die Hälfte ihres Volums, also um $\frac{136,5}{273}$ comprimirt, würde sich ohne den Einfluss der Umgebung um 136,5. 0,°421=57°,5 erwärmen.

Allgemein findet man, dass die Abweichung von der früheren Temperatur beträgt: $t = \frac{(V - V')}{V} \frac{(273 + T)\ 0,76.\ \alpha}{B}$;

wo V das ursprüngliche Volum bei T° und unter Barometerdruck, V' das veränderte Gasvolum, α die Wärmeentwicklung für $^1/_{273}$ Verdichtung, z. B. bei einfachen Gasen die Zahl 0,421 vorstellt.

Der so gefundene Werth von t lässt sich jedoch nur als eine Annäherung betrachten, weil die Wärmecapacität gleicher Gewichte gasförmiger Körper bei der Verdichtung in einem bis jetzt nicht genau bekannten, aber jedenfalls weit geringeren Verhältnisse als ihr Umfang abnimmt, bei der Verdünnung sich vermehrt (90.).

Dülong wurde durch Vergleichung der von ihm gewonnenen Resultate mit den von Delaroche und Berard ermittelten spec. Wärmen der Gase unter constantem Drucke (79.), ferner zu folgenden einfachen Gesetzen geführt:

1) Dass alle Gase, wenn man bei gleicher Temperatur und unter gleichem Drucke ein gleiches Volumen von ihnen nimmt und plötzlich um einen bei allen gleichen Bruchwerth dieses Volumens zusammendrückt oder ausdehnt, eine gleiche absolute Wärmemenge entwickeln oder verschlucken.

2) Dass die Temperatur-Aenderungen, die daraus erfolgen, sich umgekehrt wie die specifischen Wärmen bei constantem Volume verhalten.

*Die spec. Wärme der Gase bei constantem Volume lässt sich zwar nicht direkt bestimmen. Aber, als wahr angenommen, dass aus jedem Gase, bei 0° und unter 0,76 Metres Druck gemessen, durch gleich starke Verdichtung eine gleiche Menge von Wärme ausgepresst und dass die Temperatur der Luft durch Verdichtung von $^1/_{273}$ um 0°,421 erhöht wird, folgt: dass die einfachen Gase, bei welchen unter gleichen Umständen eine gleiche Erwärmung wie bei der Luft eintritt, dieselbe spec. Wärme bei constantem Volume, wie die Luft haben müssen. Kohlensäure wird durch Verdichtung von $^1/_{273}$ nur um 0°,337 erwärmt; da aber gleichwohl, nach Annahme, die Wärmemenge 0,421 ausgepresst worden ist, so muss ihre spec. Wärme bei constantem Volume sich zu derjenigen der Luft verhalten wie 0,421:0,337; d. h. die der Luft zu 1 genommen, ist die des kohlensauren Gases $\frac{0,421}{0,337} = 1,294$. Auf ähnliche Art kann die spec. Wärme eines constanten Volums anderer Gase bestimmt werden.

Addirt man zu der spec. Wärme eines Gases bei constantem Volume die Zahl 0,421, und dividirt dann durch 1,421, so ergibt sich die spec. Wärme unter constantem Drucke, die der Luft wieder = 1 gesetzt. Die so für verschiedene Gase berechneten Werthe stimmen mit den (von Delaroche und Berard) direkt gefundenen spec. Wärmen bei constantem Drucke so nahe überein, dass dadurch die Aufstellung der beiden vorerwähnten Gesetze gerechtfertigt wird. (Pogg. Ann. 16. 471.)

Specifisches Gewicht der Gase. Wenn man eine el von wenigstens 5—6 Litre Inhalt, die sich mittelst eines ıftdicht verschliessen lässt, mit ganz trockner Luft anfüllt iegt, dann den inneren Raum luftleer macht, so gibt der lerholter Wägung gefundene Gewichtsverlust (193) das des früheren Inhaltes an trockner Luft. Füllt man hierauf er abgewogene Kugel mit einem andern trocknen Gase, er nunmehr gefundene Gewichtsunterschied das Gewicht ichen Volums dieses anderen Gases. Indem man die auf Weise bestimmten Gewichte eines gleichen Volums verer Gase durch das entsprechende Gewicht der Luft diviılt man ihre specifischen Gewichte, bezogen auf die Luft it. Z. B. das Gewicht der Luft = 1 gesetzt, findet man

Sauerstoff	1,1026
Stickstoff	0,9760
Wasserstoff	0,0688
Kohlensäure	1,5245

e Zahlen gelten für jede Temperatur und für jeden Druck n die verschiedenen Gase gleichzeitig ausgesetzt sind, weil selben Ausdehnungs-und Verdichtungsgesetzen unterliegen. Dichtigkeitsverhältnisse der Gase unter einander lassen sich ln, ohne den Rauminhalt des Gefässes zu kennen, worin man gewogen hat. Soll aber die Dichtigkeit eines Gases, mit der ssers verglichen werden, oder will man das absolute Gedieses Gases erfahren, so muss der räumliche Inhalt der gel genau bekannt seyn. Indem man das Gewicht eines be- Gasvolums durch dasjenige eines gleichen Volums Wasidirt, erhält man das spec. Gewicht des ersteren bezogen Wasser als Einheit. So hat man gefunden, dass die Luft bei ınter 336,9‴ Druck 770mal leichter ist, als das Wasser, oder, selbe ausdrückt, dass 1000 C. C. Luft 1,2991 Grm. wiegen. rfahren, wie viel 1000 C. C. von irgend einem andern Gase multiplicirt man das durch Vergleichung mit der Luft gespec. Gewicht desselben mit 1,2991. Das Gewicht eines en Gasvolums ändert sich mit der Temperatur und mit dem ke. Das einem Thermometerstande T und Barometerstande örige Gewicht G kann mittelst der Formel:

$$\frac{(273 + T)\ 336,9}{273\ B}\ g$$

berechnet werden, wenn für g das Gesselben Volums bei 0° und unter 336,9‴ Druck gesetzt

aue Ermittlung des specifischen Gewichts eines Gases erfordert, dass ı chemisch reinem und ganz trocknem Zustande abgewogen werde; ratur, bei welcher die Glaskugel damit angefüllt worden, so wie der müssen genau bekannt seyn. Da es unmöglich ist, ein Glasgefäss mit uftpumpe ganz luftleer zu machen, so muss hierauf Rücksicht ge-

nommen werden. Angenommen, die Luft im Innern der Glaskugel kö bis zu 2''' Spannkraft verdünnt werden; durch das eintretende troc werde diese Spannkraft wieder bis zu 335''' vermehrt, so kommt bei Rechnung des eingetretenen Gases nur 335 — 2 = 333'''. Mehrere and richtigungen, wie die wegen des mit der Temperatur veränderlichen haltes des Glasgefässes u. s. w., worüber man in Biot, traité de phys. I. Ausführlichere findet, sind weniger erheblich, und dürfen gewöhnlich un bleiben. Der Inhalt der Glaskugel wird entweder mit Quecksilber direk messen, oder durch Anfüllen mit chemisch reinem Wasser und Abwiegen b

Beispiel: Eine Glaskugel (A) bei 20,5° und unter 0,755 mtre Di trockner Luft (l) gefüllt, wog . . . . A + l = 567,
Dieselbe Kugel mit reinem Wasser (w) von derselben Temperatur gefüllt, wog . . . . A + w = 6133,
Dieselbe Kugel luftleer bis zu 0,005 mtre Pressung, wog A + a = 561,

Nun ist der Unterschied der ersten und dritten Wägung l — a = 6,(

0,75 : 0,755; (198). Daher der ganze Inhalt an trockner Luft l = $\frac{6,65}{}$

= 6,702 Grm. Das Gewicht des leeren Gefässes A = 567,949 — 561,247 Grm. Das Gewicht des Wassers w = 6133,162 — 561,247 = 5571, Ein Gramme Wasser bei 20,5° ist 1,001698 C. C.; folglich der Inhalt de ters 5571,915 . 1,001698 = 5581,375 C. C.

Man findet hieraus das Gewicht von 1000 C. C. Luft bei 20,5° und 0,

oder $G = \frac{6,702 \cdot 1000}{5581,375}$

Das Gewicht desselben Volums Luft bei 0° und 0,76 mtre erhält m mit Hülfe der oben angegebenen Formel g = 1,2995 Grm.

205. Man kann in vielen Fällen die Richtigkeit der Gas gen durch Rechnung controlliren. Diese Controlle gründet folgende Erfahrungsgesetze:

1) Die specifischen Gewichte der einfachen Stoffe, wen in Gasform darstellbar sind, auf den Sauerstoff als bezogen (d. h. durch 1,1026 dividirt), sind den du chemische Analyse gefundenen Atomgewichten de Stoffe, ebenfalls auf den Sauerstoff als Einheit bezog weder gleich, oder stehen doch zu denselben in ei Zahlenverhältnissen. Indem man also umgekehrt da gewicht eines einfachen Gases mit 1,1026 (dem spe des Sauerstoffs) multiplicirt, muss eine Zahl gefund den, die entweder das gesuchte spec. Gew. selbst i die Hälfte davon, oder das Doppelte u. s. w.

2) Wenn sich gasförmige Körper verbinden und wen Verbindung wieder gasförmig ist, so ist das Volum selben entweder gleich der Summe der Volume der B theile, oder für den Fall, dass eine Verdichtung stattg hat, steht das Volumen der Verbindung zur Summe lume der Bestandtheile immer in einem ziemlich ei Zahlenverhältnisse.

Beispiele: Das specifische Gewicht des Chlorgases ist von Gay Lus Thénard zu 2,47 gefunden worden. Sein durch chemische Untersuch weit grösserer Sicherheit festgestelltes Atomgewicht beträgt 2,213 Zahl mit 1,1026 multiplicirt, gibt 2,440 als das richtige specifische Gew

Das specifische Gewicht des Ammoniakgases nach der Wägung von Biot und ago ist 0,5967.

Dieses Gas ist zusammengesetzt aus 2 Vol. Stickstoff = 2 . 0,9760 = 1,9520
und 6 „ Wasserst. = 6 . 0,0688 = 0,4128

Die Summe dieser beiden Bestandtheile 2,3648
ch 4 dividirt, gibt 0,5912; woraus man sieht, dass die 8 Gasvolume sich zu 4 men Ammoniak verbunden haben müssen, und dass das richtigere specifische ticht dieses Gases 0,5912 beträgt.

Durch diese Controll-Rechnung wird man also in den Stand gesetzt, auch annähernd richtigen Wägungsversuchen das wahre spec. Gewicht eines Ga- s abzuleiten.

206. Die ungleiche Dichtigkeit verschiedener Gase unter glei- em äusseren Drucke (oder bei gleicher Spannkraft, die sie selbst üben), beweist eine ungleiche Expansivkraft ihrer klein- n Theile. Die Atome des Wasserstoffs z. B. besitzen ein 16mal grosses wechselseitiges Abstossungsvermögen als die Atome s 16mal dichteren Sauerstoffs; oder bei gleicher Dichtigkeit ist e Spannkraft des ersteren Gases die 16fache von derjenigen des tzteren. Das Verhältniss der Expansivkraft der kleinsten Theile rschiedenartiger Gase wird specifische Expansivkraft oder pecifische Elasticität genannt. Es ist einleuchtend, dass die pec. Elasticitäten zweier Gase sich verkehrt wie ihre spec. Ge- richte bei gleicher Temperatur und unter gleichem Drucke ver- halten.

Temperatur-Erhöhung vermehrt die specifische Elasticität eines Gases, durch Abkühlung wird sie vermindert.

207. Die Körper verlieren in der Luft, gleich wie in jeder schwe- n Flüssigkeit, einen Theil ihres Gewichtes, und zwar genau so el als die verdrängte Luft wiegt. Hat man z. B. eine zugeschmol- e Glasblase von 3 — 4 Zoll Durchmesser an einer kleinen, aber ndlichen Wage ins Gleichgewicht gebracht und setzt sie dann t der kleinen Wage unter den Recipienten der Luftpumpe, so während des Auspumpens auf der Seite der Blase ein Aus- g entstehen. Lässt man die Luft wieder zu, so stellt sich auch Gleichgewicht wieder her.

Um das wahre Gewicht eines Körpers zu erhalten, muss daher m scheinbaren Gewichte, so wie es in der Luft gefunden ist, nige eines gleichen Volums Luft hinzugefügt werden. Da diese tionsgrösse bei den specifisch leichten Körpern verhältnismäs- m meisten ausmacht, so können die spec. Gewichte der Kör- keine ganz richtige Vergleichung ihrer wahren Gewichte ge- wenn sie nicht auf den Gewichtsverlust in der Luft reducirt (178).

ei unseren Wägungsversuchen befinden sich zwar die Ge- steine eben so wohl wie die zu wägenden Stoffe in der Luft; loch unsere Gewichtseinheiten ganz willkührlich angenom- Grössen sind, so kommt der Gewichtsverlust der Gewichts-

steine in der Luft selten in Betracht; ja er würde ganz und ohne Einfluss seyn, wenn die Luft stets einerlei Dichte besäss

Man nenne G das Gewicht eines Körpers in der Luft, G' sein Gewicht im Wasser; l das Gewicht eines gleichen Volums Luft von der Dichtigkeit δ; w das Gewicht eines gleichen Volums Wasser. Der Unterschied G — G' gibt nicht den wahren Gewichtsverlust im Wasser (w), sondern diesen Verlust, weniger l der Luft, d. h. w — l.

Man findet aber w durch die Betrachtung: dass G — G' sich zu w verhält wie der Unterschied der Dichtigkeiten des Wassers und der Luft, zur Dichtigkeit des Wassers. Daher $w = \frac{G - G'}{1 - \delta}$

Ebenso findet man l aus der Proportion $(1 - \delta) : \delta = G - G' : l$ $\left(l = \frac{(G-G')\delta}{1-\delta}\right)$

Das wahre specifische Gewicht eines Körpers ist dann $\frac{G + l}{w}$ oder ...

Auf ähnliche Weise lässt sich der wahre Inhalt von Gefässen, die nicht ... abgewogen werden können, durch Rechnung bestimmen. Z. B. ein Glasgefäss mit Luft gefüllt, wog G = 35,234 Grm., dasselbe mit reinem Wasser gefüllt, G' = 256,143 Grm. Das wahre Gewicht des enthaltenen Wassers ist dann nach $w = \frac{256,143 - 35,234}{1 - 1/770} = \frac{220,909.770}{769} = 221,196.$

Auf dem Gewichtsverluste der Körper in der Luft beruht Otto von Guericke's Luftwage (von ihm selbst Manometer genannt), ein Instrument, das bestimmt ist, Aenderungen in der Dichtigkeit der atmosphärischen Luft ... gen. Es besteht aus einer grossen verschlossenen Glaskugel, die an einem ... eines empfindlichen Wagebalkens angehängt ist und mittelst eines Gegengewichtes im Gleichgewichte steht (Gehl. 6. 1198.).

208. Körper welche leichter sind als die Luft werden in derselben durch eine Kraft aufwärts getrieben, welche gleich ist dem Unterschiede ihres eignen Gewichtes und dem der verdrängten Luft (176). Aufsteigen erwärmter Luft, des Rauchs; Luftschifffahrt.

Der Luftballon (Aërostat) besteht im Wesentlichen aus einer nahe kugelförmigen, sehr leichten, luftdichten Hülle (gewöhnlich Goldschlägerhaut für ganz kleinen, gefirnisster Taffet für die grösseren Aërostaten), die mit Gase von geringerer Dichtigkeit als die atmosphärische Luft gefüllt ... den zur Luftschifffahrt (Aëronautik) bestimmten Aërostaten ist diese Hülle ... einem Netze von Schnüren umgeben, welche unten in eine Anzahl Stränge ... laufen, woran eine sehr leichte Gondel befestigt ist. Die Steigkraft des ... ballons wurde zuerst durch Erwärmung der inneren Luft bewirkt. Man ... aber bald vortheilhafter, den inneren Raum mit Wasserstoffgas zu füllen ... dings hat Green in London das durch Destillation der Steinkohlen gewonnene Kohlenwasserstoffgas hierzu verwendet.

Die festen Theile des Luftballons sind zwar weit schwerer als die ... sphärische Luft; da jedoch die Räume zweier Kugeln im Verhältnisse der ... ihrer Durchmesser, ihre Oberflächen nur im Verhältnisse der Quadrate ... Durchmesser stehen, so kommt man durch Vergrösserung der Dimensionen ... zu einem Verhältnisse, wobei das Gewicht des Ballons sammt dem des ... schlossenen Gases weniger beträgt, als dasjenige der verdrängten Luft.

Das zum Füllen der Aërostaten verwendete Wasserstoffgas lässt sich ... grosser Menge nicht in reinem Zustande gewinnen. Man schätzt seine Dichtigkeit zu $1/7$ von derjenigen der Luft. Nimmt man nun den K. F. Luft zu 42 ... also den K. F. Wasserstoffgas zu 6 Grm., so lassen sich, da ein Q. F. des

ffet 22,5 Grm. wiegt, für die mit Wasserstoffgas gefüllten Luftbälle
e Verhältnisse berechnen.

:sser ülle	Gewicht von Seidenzeug.	Gewicht des enthaltenen Wasserstoffgases	Steigkraft.
F.	70,65 Grm.	3,14 Grm.	— 51,8 Grm.
„	7 Kilogr.	3,14 Kilogr.	+ 11,76 Kilogr.
„	44 „	49 „	250 „
„	176 „	392 „	2177 „
„	706 „	3138 „	18122 „

mit Kohlenwasserstoffgas gefüllten Luftballons soll die Steigkraft
:ent weniger betragen als bei der Anfüllung mit Wasserstoffgas.

ie Luftschifffahrt bestimmten Aërostaten werden nur zu $^3/_4$ ihres wirklichen mit Gas gefüllt, weil wegen des in der Höhe abnehmenden Luft- s innere Volum sich vergrössern muss. Ueberdies befindet sich am eine Klappe, welche durch eine Feder zugehalten wird, mittelst eines el herabreichenden Fadens aber geöffnet werden kann, so oft wäh- ifsteigens in Folge zu starken Anschwellens des Ballons ein Zer- selben zu befürchten steht. Diese Klappe dient auch zur Regulirung aft, denn sobald man sie öffnet, wird durch das entweichende Gas relativ schwerer und beginnt zu sinken. Um ihn wieder zum Steigen , erleichtert man ihn durch Auswerfen von Ballast, z. B. von Sand, s zu diesem Zwecke mitgenommen wird. Es ist noch nicht gelungen, : Weise auch die horizontale Bewegung des Luftballons zu beherr- iche bis jetzt so ziemlich von der Richtung des Windes abhängt, und ig eine sehr grosse Geschwindigkeit besitzt. Ein im Jahr 1804 zu n aufgestiegener Ballon fiel nach 12 Stunden bei Halle nieder; ein an- r sich in demselben Jahre zu Paris erhob, sank nach 22 Stunden un-

ste Luftschiff liessen die Gebrüder Stephan und Joseph Mont- len 5. Juni 1783 bei Annonay steigen, in dem sie die Luft in dem innern irmten; daher der Name Montgolfière. Am 15. October desselben g Pilatre de Rozier in einer Montgolfière zum erstenmal in die vegen ihrer reichen wissenschaftlichen Ausbeute merkwürdigsten sind die am 24. August 1804 von Biot und Gay-Lüssac gemein- ınd am darauf folgenden 16. September von Gay-Lüssac allein enen (Gehler's Wörterb. I. S. 519).

'steigen erwärmter und dadurch ausgedehnter Luft in der kälteren rum Luftmassen, selbst von bedeutendem Umfange, ungeachtet ihres hten Leitvermögens sich ziemlich schnell erwärmen lassen, wenn die unten einwirkt.

eren erwärmten Räumen, z. B. in unseren Wohnzimmern im Winter, ts die obersten Luftschichten die höchste Temperatur, und diese er- h allmählig nach dem Boden hin. Der Grund ist, weil die durch Be- t dem heissen Ofen warm gewordene Luft, sogleich in die Höhe steigt nn der Decke des Zimmers entlang über die darunter befindliche we- e Luftschicht ausbreitet, während die durch Berührung mit den kal- ı und Wänden abgekühlte Luft sogleich niederfällt und über den Zimmers hinfliesst. Um die Luft in einem Zimmer durchwärmen zu ss daher von dem Ofen warme Luft in solcher Menge aufsteigen, und Decke hin ausbreiten, dass die zuerst aufgestiegenen Mengen, durch genden und über sie hinströmenden, genöthigt werden sich zu senken, nen grossen Theil der an sie übergegangenen Wärme an die kältere ıbzusetzen vermochten.

Temperatur eines erwärmten Zimmers gleichförmig zu erhalten, ist rlich, dass fortwährend von dem Ofen so viel warme Luft sich er-

hebt, als kalte an den Wänden niedersinkt. Man sieht leicht, dass diese fo dauernde Circulation um so vollständiger eintreten und sich über alle Luft Zimmer bis auf die tiefsten Schichten erstrecken muss, je näher am Boden Erwärmung vor sich geht.

Die Erwärmung der äusseren atmosphärischen Luft geschieht zwar nicht a schliesslich, aber doch hauptsächlich durch die Berührung mit der durch Sonnenstrahlen erwärmten Erdoberfläche. Da nun die Erde nicht überall auch an demselben Orte nicht zu jeder Zeit eine gleiche Temperatur besitzt müssen in der Atmosphäre ähnliche Luftströmungen entstehen, wie in ei Zimmer unter dem Einflusse der Ofenwärme. Die Winde, insbesondere die re mässigen Winde verdanken wesentlich solchen Ursachen ihre Entstehung.

Die Erfahrung lehrt, dass die Wärme der Erdoberfläche durch die auf gende Luft zu sehr beträchtlichen Höhen geführt wird. Da jedoch die Luft, w rend sie sich erhebt, wegen des in den höhern Schichten der Atmosphäre v minderten Drucks, allmählig ihr Volum vergrössern, also einen Theil ihrer fr Wärme binden muss, so ergibt sich als nothwendige Folge, nach oben hin allmählige Abnahme der Temperatur.

Es sey B der Barometerstand, T^{0} die Temperatur der Luft an der Erdo fläche. Diese Luft werde, indem sie bis zu einer Höhe steigt, in welcher Spannung b herrschend ist, bis zu t^{0} abgekühlt. Nun nimmt ein Volum Luft bei wenn die Temperatur t^{0} wird, $1{,}421\ t$ und wenn die Temperatur T^{0} wird, 1,4 Wärme auf, die specifische Wärme bei constantem Volume gleich 1 gesetzt (S Die in Folge einer Volums-Erweiterung eingetretene Temperatur-Erniedrig von T^{0} zu t^{0}, entspricht also einer Quantität gebundenen Wärme $1{,}421\,(T-$

Wenn die Volums-Einheit, bei 0^{0} und unter $336{,}9'''$ Druck gemessen, der ve änderten Temperatur T^{0} und dem Druck B ausgesetzt wird, verwandelt s das Volum 1 in $\frac{(273 + T)\ 336{,}9}{273\,.\,B}$; die Umfangsvergrösserung ist folg $\frac{(273 + T)\ 336{,}9 - 273\ B}{273.\ B}$; die derselben entsprechende Ausdehnungswä hält die Luft bei dem an der Erdoberfläche herrschenden Barometerstande B der herrschenden Temperatur T^{0} bereits gebunden.

Der Luftdruck soll aber in einer gewissen Höhe, nach Annahme bis zu sinken, und dadurch die Temperatur t^{0} entstehen; die entsprechende Erweite des Volums 1 ist $\frac{(273 + t)\ 336{,}9 - 273\,.\,b}{273\ .\ b}$. Da nun die Luft einen Theil der diese Volumsvergrösserung nöthigen Ausdehnungswärme bereits enthält kann die Abkühlung von T^{0} zu t^{0} und die Bindung der Wärmemenge $1{,}421\,(T$ nur von dem Unterschiede beider Vergrösserungen des Volums 1 abhängig

Setzt man diesen Unterschied $= \frac{n}{273}$ des Umfangs der Luft bei 0^{0} und $336{,}9'''$ Druck, so lässt sich die während der Temperatur-Erniedrigung Ausdehnung gebundene Wärme auch durch $0{,}421\ n$ bezeichnen. Es ist dah

$$1{,}421\,(T - t) = 0{,}421\left(\frac{(273 + t)\ 336{,}9 - 273b}{b} - \frac{(273 + T)\ 336{,}9 - 27\ldots}{B}\right.$$

Gleichung, woraus sich die durch die Erhebung warmer Luft erniedrigte peratur t derselben leicht berechnen lässt.

Beispiele: Es sey $B = 336{,}9$; $T = 15$; $b = 324'''$ so findet man $t = 1$

$b = 228$ so findet man $t = -$

Diese Temperatur-Erniedrigungen müssten eintreten, wenn die Luft trocken wäre und ausschliesslich nur durch Berührung mit der Erde er würde.

209. **Höhenmessen mit dem Barometer.** Auf die Abn des Barometerstandes bei zunehmender Höhe des Beobacht

...s gründet sich das Höhenmessen mit dem Barometer. Die Dichteit, trockner Luft bei 0° und unter 336,9''' Druck verhält sich zu des Quecksilbers bei 0° wie 1 : 10467, oder wenn die Luft irgend e andere Temperatur t^{0} besitzt, wie 1 : $\frac{10467(273+t)}{273}$ Hierh ist z. B. der Druck einer Quecksilbersäule von 1 Linie Höhe ich dem einer Luftsäule von 76,7 Fuss bei 15° mittlerer Tempeur. Fände man daher, dass an einem oberen Beobachtungsorte Barometer um 1 Linie tiefer steht, als am unteren, so würde der henunterschied beider Stationen 76,7 Fuss betragen müssen f ähnliche Weise würde man aus dem Unterschiede zweier gleichtig beobachteten Barometerstände den senkrechten Höhenunterhied der beiden Beobachtungsorte durch eine ganz einfache Rechng ableiten können, wenn die Atmosphäre überall gleiche Dichheit besässe. Da aber diess nicht der Fall ist, da z. B. eine Senng von 10 Linien Quecksilber einer grösseren Erhebung als der n 10mal 76,7 Fuss Luft entspricht, so müssen wir vorerst unrsuchen, nach welchem Gesetze die Quecksilbersäule des Barometers bei zunehmender Höhe des Beobachtungsortes sich erniedrigt.

Man denke sich zu diesem Zwecke die Atmosphäre in eine Anzahl gleich hoher über einander liegender Schichten abgetheilt. Die Dichtigkeit der Luft ändert sich von einer Schicht zur andern; innerhalb der Gränzen jeder einzelnen kann sie aber überall als gleich vorausgesetzt werden, sobald man nur ihre Höhe sehr gering annimmt. Diese Höhe sey: $h = \frac{\alpha}{\delta}$, wo α eine sehr kleine Quecksilberhöhe (z. B. von 0,01''') vorstellt, um welche sich der Barometerstand von 336,9''' erniedrigt, wenn das Instrument, bei Lufttemperatur auf die Höhe h getragen wird; δ bezeichnet die Dichtigkeit der Luft bei t^{0} und unter 336,9''' Druck. Bei irgend einem andern Barometerstande b, aber sonst gleichen Umständen, wird das Gewicht derselben Lufthöhe h dem einer kleinen Quecksilbersäule von $\frac{\alpha b}{336,9}$ Linien gleich seyn; denn die Gewichte gleicher Volume (gleich hoher Luftsäulen) verhalten sich wie die Barometerstände. Es seyen nun b'; b''; b'''; b^{iv} ... b^{n} die Barometerstände je am Anfange der auf einander folgenden gleich hohen Schichten. Das Gewicht der ersten Schicht ist $\frac{\alpha b'}{336,9}$, daher

$$b'' = b'\left(1 - \frac{\alpha}{336,9}\right)$$

Gewicht der zweiten Schicht ist $\frac{\alpha b''}{336,9} = \frac{\alpha b'}{336,9}\left(1 - \frac{\alpha}{336,9}\right)$

Daher $b''' = b' \left(1 - \frac{\alpha}{336,9}\right)\left(1 - \frac{\alpha}{336,9}\right) = b' \left(1 - \frac{\alpha}{366,9}\right)$

Das Gewicht der dritten Schicht ist $\frac{\alpha\, b'''}{336,9} = \frac{\alpha\, b'}{336,9}\left(1 - \frac{\alpha}{336,9}\right)$

Daher $b^{IV} = b' \left(1 - \frac{\alpha}{336,9}\right)^2 \left(1 - \frac{\alpha}{336,9}\right) = b' \left(1 - \frac{\alpha}{336,9}\right)$

Man sieht deutlich, dass die auf einander folgenden Barome... stände eine fallende geometrische Reihe bilden, deren Coeffici... die Grösse $1 - \frac{\alpha}{336,9} = \frac{336,9 - \alpha}{336,9}$ ist.

Es ergiebt sich daher der Barometerstand am Anfange irge... einer n^{ten} Schicht $b^n = b' \left(\frac{336,9 - \alpha}{336,9}\right)^{n-1.}$

Dem Unterschiede dieser beiden Barometerstände entspricht... Druck von $n - 1$ Luftschichten, oder die Lufthöhe $H = (n-1)h$. ... nun für $\alpha = 0,01$ u. $\delta = \frac{273}{10467\,(273+t)}$ folgt: $h = \frac{0,01\,(273+t)\,1046...}{273}$

da ferner $n - 1 = \frac{\log b' - \log b^n}{\log 336,9 - \log (336,9 - \alpha)} = 77574 \log \frac{b'}{b^n}$

so findet man den Höhen-Unterschied der beiden Stationen, an wel... chen die Barometerstände b' und b^n beobachtet worden sind i... Pariser Fussen ausgedrückt:

$$H = \frac{0,01\,(273 + t)\; 10467}{273.\; 144} \times 77574 \log \frac{b'}{b^n}$$

$$= 206,545\,(273 + t) \log \frac{b'}{b^n}$$

Der Gebrauch dieser Formel setzt voraus, dass die Barome... stände b' und b^n auf 0^0 reducirt sind, und dass für t die mittlere Te... peratur der Luftsäule H gesetzt werde. Das Mittel der Lufttemp... tur an der oberen und unteren Station betrachtet man gewöh... als genügenden Annäherungswerth für t.

Beispiel: Im August 1805 beobachteten Humbold, Buch und Gay-Lüs... auf dem Vesuve, am höchsten Rande des Kraters, bei 14,4° Lufttemperatur ... Barometerstand von 293,9‴. Gleichzeitig war zu Portici, 7 Toisen über ... Meere, der Barometerstand von 337‴ bei 22° Lufttemperatur beobachtet wo... Es ist in diesem Falle $b' = 335,68$; $b'' = 293,11$; $t = \frac{22 + 14,4}{2} = 18,2$; ... 3539,7 Par. Fuss.

Es lassen sich bei der Höhenmessformel einige Verbesserungen anbring... durch Berücksichtigung des Einflusses der Luftfeuchtigkeit, so wie der ab... menden Schwere der Luft bei vertikaler Erhebung, und ihrer zunehmen... Schwere bei zunehmender Breite des Beobachtungsortes. Diese Verbesseru...

neistens von viel geringerer Bedeutung als die unvermeidlichen ıfehler.

sche Höhenmessungen, um Anspruch auf Genauigkeit machen zu dern grosse Umsicht und Uebung, und namentlich auch eine rich- der Zeit. Bei regnerischer Witterung, bei stark bewegter Luft ht leicht brauchbare Beobachtungen erhalten. — Das Instrument end, ist das Erforderliche bereits Seite 120 bemerkt worden Hin- Bequemlichkeit im Gebrauche auf grösseren Reisen eignet sich das c'sche Barometer vorzugsweise (Handw. d. Ch. u. Ph. I, S. 683). emer zu transportiren ist das sogenannte Differentialbaro- r Gestalt, welche dasselbe neuerdings von Kopp erhalten hat. i6, S. 513.)

trument, dessen erster Erfinder August ist, gibt jedoch den Baro- icht unmittelbar durch die Beobachtung, sondern erfordert stets eines Experimentes. In der Hand des Geübten kann es gleich- leicht in den meisten Fällen hinlängliche Genauigkeit gewähren.

Bewegungsgesetze flüssiger Körper.

e Flüssigkeiten sind zwar im Allgemeinen denselben ıgesetzen wie die festen Körper unterworfen. Da aber in Folge der ihnen eigenthümlichen Beweglichkeit dem ines äusseren Drucks nach jeder Richtung mit gleicher t ausweichen können, so ergeben sich gewisse, den Flüs- igenthümliche, wenn auch von den allgemeinen Bewe- tzen abhängige Bewegungs-Erscheinungen. Diese Er- en nun sind es, um deren Darstellung es sich jetzt handelt.

uss tropfbarer Flüssigkeiten aus Behältern.

opfbare Flüssigkeiten ergiessen sich durch Oeffnungen er Form und Grösse, die man an dem Boden oder den len der Behälter anbringt. Die Ursache des Ausflusses lie Fläche der Oeffnung wirkende hydrostatische Druck. s Oeffnungen von gleichem Quadratinhalte, die in gleich de desselben Behälters eingeschnitten sind und deren e (Schwerpuncte) sich in gleicher Tiefe unter dem Spie- n, strömen in gleicher Zeit gleiche Wassermengen aus. Ergebniss der Erfahrung erklärt sich leicht dadurch, die erwähnten Bedingungen stattfinden, auf jede Oeff- anz gleicher Druck wirksam ist.

hen über den Ausfluss des Wassers pflegt man der Bequemlichkeit fnungen an den Seitenwänden anzubringen. Die aus solchen Versu- en Schlüsse können gleichwohl eine ganz allgemeine Geltung haben.

ıs engen Oeffnungen von ungleichem Quadratinhalte, cher Tiefe ihrer Schwerpuncte unter dem Spiegel er- h ungleiche Wassermengen, die sich verhalten wie die alte der Oeffnungen.

i zunehmender Tiefe der Oeffnung unter dem Wasser- mt auch die Ausflussmenge zu, und zwar verhalten

sich für verschiedene Tiefen die Ausflussmengen f
die Quadratwurzeln aus den lothrechten Entfernung
punctes der Oeffnung unter dem Spiegel, oder, was
wie die Quadratwurzeln aus den Druckhöhen.

Man muss hieraus schliessen, dass auch die
schwindigkeiten sich wie die Wurzeln au
höhen verhalten. Um z. B. bei übrigens gleich bes
nung eine doppelte Ausflussmenge, also eine doppelte
keit zu erzielen, wird eine vierfache Wasser-Druck

Dieser Schluss wird durch die beiden folgende
gerechtfertigt: 1) Man gebe dem ausfliessenden Wa
senkrecht aufwärts gehende Richtung, er wird, we
ersten Aufspringen, fast bis zur Höhe des Spiegel
bedürfen senkrecht aufsteigende Körper, um eine
erreichen zu können, einer Anfangsgeschwindigk
rade so gross ist wie diejenige, welche sie beim Fa
ben Höhe herab erreicht haben würden (112); **die G**
keit des austretenden Wasserstrahls muss
gross seyn, wie wenn jeder Theil desselben
des Spiegels herabgefallen wäre; d. h. diese
keit muss proportional seyn der Quadratwurzel aus

2) Ein wagerecht ausfliessender Strahl senkt sic
dem er die Oeffnung verlassen hat, nach demselbe
jeder frei fallende Körper, ohne dadurch von seine
Geschwindigkeit einzubüssen (155). Die Ausflussge
muss sich daher bestimmen lassen, indem man die
der sich der Strahl um eine gewisse Tiefe in der lo
tung gesenkt hat, nach den gewöhnlichen Fallgese
(108) und den gefundenen Werth in den gleichzeitig
wagerechten Weg dividirt. Die auf diese Weise
Druckhöhen gefundenen Geschwindigkeiten verha
falls wie die Wurzeln aus den Druckhöhen.

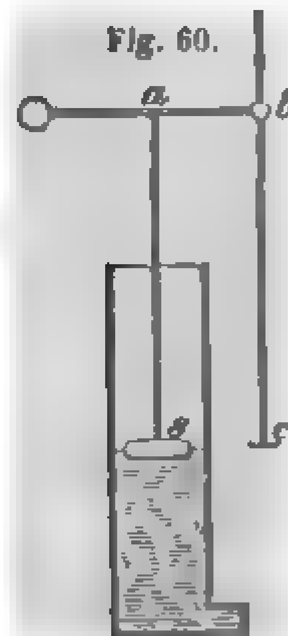


Fig. 60.

Um die Ausflussgesetze des Wassers
erläutern, eignet sich als Behälter ein Kas
etwa 3 Fuss Höhe und 8 bis 12 Zoll Weite,
füttert ist und sich unten in seiner ganzen Br
4 Zoll hervorragenden Ansatz erweitert.
Oberfläche dieses Ansatzes kann eine dünn
sing eingeschoben werden; ein ähnlicher Sch
an der senkrechten Vorderwand des Ans
von beliebiger Weite sind entweder unmitt
nen Messingplatten eingeschnitten oder kö
Mundstücken eingeschraubt werden. Den S
im Behälter beobachtet man mittelst eines S
lackirtem Holz oder von Messingblech; d
dünne Stange *s a* von der Höhe des Be
oberem Ende eine ähnliche Stange rechtw
ist, in einem Einschnitte der letzteren bei
b c auf und nieder verschiebbar und kann
gestellt werden, dass die dünne Scheibe
desselben die Höhe des Spiegels zeigt.

nan das Wasser durch eine Oeffnung von nicht weniger als 2 — 3 Linien treten, welche in den wagrechten Schieber eingeschnitten ist, so er- lothrecht aufsteigende Strahl zwar niemals die in die Höhe des Spie- llte Scheibe c, allein sein Zurückbleiben beträgt wenigstens beim springen nicht viel mehr als 1 Procent der jedesmaligen Druckhöhe; ein d, der ohne Bedenken dem Einflusse der unvermeidlichen Bewegungs- beigemessen werden darf. Bei der Fortdauer des Versuches erhält sich höhe, wegen des zurückfallenden Wassers, nicht constant, und bleibt lben Grunde immer beträchtlich unter der Höhe des Spiegels zurück.

lothrechten Sprunghöhe des Wassers hat Toricelli zuerst die wahre Ausflussgeschwindigkeit abgeleitet.

ch Beobachtung gefundene Geschwindigkeit des ausströmenden Was- sich bei gehöriger Berücksichtigung der allgemeinen Fallgesetze auf de Weise erklären. So oft nämlich eine, wenn auch noch so klein ge- ssermenge, z. B. $\frac{1}{n}$ der über der Oeffnung stehenden flüssigen Säule nt ist, hat sich die letztere in der Richtung der Schwere um $\frac{1}{9}$ ihrer en müssen; es ist also ein Bewegungseffect verwendet worden, des- $\left(G.\frac{1}{n}H\right)$ erhalten wird, indem man das Gewicht der auf die r Oeffnung drückenden Wassersäule (G) mit dem Wege $\left(\frac{1}{n}H\right)$ mul- len sie zurücklegen musste. Dieser Bewegungseffect ist aber genau so h der eines Gewichtes $\frac{1}{n}$ G, das von der ganzen Druckhöhe H herab- ist (120); jedes ausfliessende Wassertheilchen muss folglich eine Ge- gkeit annehmen, welche gleich derjenigen eines frei fallenden Körpers Formel $V = \sqrt{2cH}$ ausgedrückt werden kann (108), insofern nicht erstände ein Theil des bezeichneten Bewegungseffectes aufgezehrt wird. übrigens einleuchtend, dass das Wasser die Geschwindigkeit, womit st, nicht plötzlich (113), sondern nur durch allmähligen Zuwachs er- dass die flüssigen Theile während dieser Zeit und unter dem Einflusse lauernden Drucks eine gewisse Strecke Wegs mit beschleunigter Be- rücklegen müssen. Demnach besitzen die bereits in den Bewegungs- ergegangenen, auf einander folgenden und mit der Fläche der Oeff- lelen Wasserschichten sehr ungleiche Geschwindigkeiten; sie müssten on einander trennen, und der Druck des fast ruhenden Wassers im önnte sich nicht durch die ganze Reihe fortpflanzen, wenn nicht die n dem Maasse, als ihre Geschwindigkeit sich vermehrt, an Flächen- men und dadurch wieder an Dicke zunehmen könnten. Man sieht hieraus, dass für die Bedingung eines ganz gleichförmig fortwirkenden Drucks der über der Oeffnung stehenden flüssigen Säule H, diese Oeffnung, oder eigentlich derjenige Theil des Behälters, worin die Bewegung der Wassertheile beschleunigt wird, eine gewisse Länge und eine von Innen nach Aussen abnehmende Weite haben muss. Die Gesetze der gleichförmig beschleunigten Bewegung lehren, dass obiger Bedingung genügt werden kann, wenn der Behälter in ein Mundstück, wie Fig. 61, ausgeht, dessen Gestalt aus der Gleichung $x\,y^4 = a^5$ abgeleitet wird. Die Linie Y Y′ bedeutet die ebne Wandfläche des Behälters, die Linie A X (die Axe der Oeffnung) zeigt die Richtung an, nach welcher die parallelen Wasserschichten mit beschleunigter Bewegung fortschreiten; x bezeich-

g. 16.



net den Weg, den eine beliebige dieser Schichten bereits zurückgelegt den zugehörigen Querschnitt des Mundstücks. Die Querschnitte des Mun an verschiedenen Stellen verhalten sich nämlich umgekehrt, wie die Ge digkeiten von denselben Stellen. Hiernach nun lässt sich die Gestalt de leicht bestimmen. Man findet, dass es nach vorne hin schon in der g Entfernung $x = 2\,a$ fast cylindrisch wird, dass folglich in derselben nung das Wasser eine beinah schon gleichförmige Geschwindigkeit an men hat. Macht man das Mundstück nicht länger, so wird die Flüssigke noch fast mit der Geschwindigkeit $V = \sqrt{2\,c\,H}$ austreten, innerhalb ab sie sich mit gleichförmig zunehmender Geschwindigkeit bewegen und des geachtet durch jeden Queerschnitt gleichzeitig stets eine gleiche Menge st

Da die innere Leere des Mundstücks (Fig. 61) genau so gestaltet das Wasser für die Bedingung einer gleichförmig beschleunigten Beweg zusammenziehen (contrahiren) muss, so kann man ihm den Namen geben: nung nach der Gestalt der Zusammenziehung des Wasserstr

215. **Durch Oeffnungen oder Mundstücke von verschi Gestalt ergiessen sich unter übrigens gleichen Umstände gleiche Wassermengen.**

Ist die Oeffnung nach der Gestalt der Zusammenziehun bildet, so wird die Ausflussmenge für eine Sekunde Zeit gef indem man den Flächeninhalt der äussersten Ausmündung (der Ausflussgeschwindigkeit ($V = \sqrt{2\,c\,H}$) und das so erh Product wieder mit der Zahl 0,98 multiplicirt. Bei dieser Red betrachtet man den ausfliessenden Strahl als einen Cylinde als ein Prisma von der Länge V, welcher die Ausmündung Grundfläche hat. Dass 2 Procent weniger ausströmt, als Vorstellung nach geschehen müsste, rührt hauptsächlich weil die Geschwindigkeit durch Reibung an den Wänden des stücks, so wie durch unvollkommene Beweglichkeit der W theile selbst etwas vermindert wird. Den Ausdruck: $f\,\sqrt{}$ pflegt man die theoretische Ausflussmenge zu nennen; ei (in unserem Falle 0,98), womit man diesen Ausdruck zu m ciren hat, um die wirkliche Ausflussmenge zu finden, heiss Ausflusscoefficient.

Wenn die Ausflussöffnung unmittelbar in eine ebne Be wand eingeschnitten ist, deren Dicke weniger als die Häl Durchmessers der Oeffnung beträgt, so bemerkt man sogleic die letztere während des Ausflusses nicht ganz angefüllt i dass der Strahl vom inneren Rande nach Aussen sich konis sammenzieht, dergestalt dass in einer Entfernung vom Rande, die beiläufig halb so gross ist als die Weite der Oe sein Durchmesser nur 0,8 von dem der letzteren beträgt. (E nung der Zusammenziehung oder Contraction des Strahls hier aus erhält dann der Strahl, wenn die Oeffnung kreisför eine fast cylindrische Gestalt. Der Ausflusscoefficient für O gen in dünnen Wänden ist, wenn der Durchmesser unter 5 beträgt, 0,64, sinkt aber bei weiteren Oeffnungen bis zu 0,6 (Weisbach). Er ist, wie die Erfahrung lehrt, auch mit der

höhe veränderlich, so dass er bei Anwendung enger Oeffnungen und sehr geringer Druckhöhen bis zu 0,69 anwachsen kann.

Das Phänomen der Contraktion beginnt bereits hinter der Oeffnung, wie man bei Anwendung von Glasbehältern und schwach getrübtem Wasser sehr deutlich wahrnehmen kann. Der Grund ist: weil die der Oeffnung zueilenden flüssigen Theile nach zwei Richtungen in Bewegung gesetzt werden müssen, nämlich einmal gleichlaufend mit der Axe der Oeffnung, zweitens winkelrecht gegen diese Axe. Die erste dieser Bewegungen, bei fortwirkender bewegender Kraft mehr und mehr beschleunigt, wächst endlich zur Ausflussgeschwindigkeit an, während die letztere nur dient, um die Lücken, welche wegen der beschleunigten Bewegung zwischen den hinter einander folgenden parallelen Schichten entstehen müssten, auszufüllen (214). Die Seitenbewegung der flüssigen Theile ist sichtbar bis zum Rande der Oeffnung, und kann folglich ausserhalb nicht plötzlich aufhören; sie ist die Ursache, dass der Strahl auch vor der Oeffnung fortfährt, sich zusammenzuziehen, d. h. seinen Durchmesser zu vermindern, und dass er also seine grösste Geschwindigkeit erst eine kleine Strecke ausserhalb gewinnt.

Wenn in der Behälterwand zwei Oeffnungen nahe bei einander angebracht sind, so wird die Seitenbewegung (nämlich die Bewegung winkelrecht gegen die Axe der Oeffnung) zwischen beiden begreiflicher Weise verringert, und es muss ein Uebergewicht des Seitendrucks von den entgegengesetzten Seiten entstehen. Daher kommt es, dass die Richtungen beider Strahlen ausserhalb des Behälters nicht parallel laufen, sondern einen Winkel mit einander bilden. Schliesst man die eine Oeffnung, so wird der aus der andern tretende Strahl sogleich von der früheren Richtung abgelenkt und fliesst fortan gleichlaufend mit der Axe seiner Oeffnung.

Giebt man der Ausflussöffnung die Gestalt eines kurzen cylindrischen oder prismatischen Rohrs, ist sie z. B. in eine Gefässwand eingebohrt, deren Dicke so gross oder nicht viel grösser ist, als der Durchmesser der Oeffnung, so strömt das Wasser bei raschem Ausziehen des Stöpsels, der die Mündung schliesst, ganz so wie durch eine Oeffnung in dünner Wand. Hatte man das Rohr nur mit dem Finger geschlossen, so dass es sich bereits vor dem Beginne des Ausflusses anfüllen konnte, oder beträgt die Länge desselben wenigstens das Drei- bis Vierfache des Durchmessers, so wird das Wasser durch die Adhäsion der Röhrenwand genöthigt, an dieser herzufliessen, und es ist keine Contraktion mehr sichtbar. Die Sprunghöhe des Strahls beträgt in diesem Falle höchstens 81 Procent der Druckhöhe; die Geschwindigkeit hat sich also bedeutend vermindert; gleichwohl ist die Ausflussmenge grösser geworden, denn als Cöfficienten derselben findet man jetzt die Zahl 0,82.

Wenn das kurze Ansatzrohr sich bei der Einmündung etwas konisch verengt und dann wieder konisch erweitert, so vermehrt sich die Ausflussmenge ganz so wie bei dem cylindrischen Ansatze. Hieraus muss man schliessen, dass das Wasser beim Eingange in das cylindrische Rohr ebenfalls eine Contraktion erleidet und erst nachher durch die Adhäsion der Röhrenwand genöthigt wird, sich wieder auszubreiten, dass es folglich mit zunehmender Geschwindigkeit in das Rohr ein- und mit abnehmender wieder austritt. Befindet sich an der Seite dieses Mundstücks eine kleine Oeffnung, durch welche die Luft eindringen kann, so reisst sich der Wasserstrahl sogleich von den Seitenwänden los und der Ausflusscoefficient sinkt auf 0,64. Wird in die Seitenöffnung *a* (Fig. 62) ein Glasrohr eingekittet, dessen anderes Ende *b* in ein Gefäss mit Wssser taucht, so steigt die Flüssigkeit in dem Rohr, zum Beweise einer thätigen Wirksamkeit des Luftdrucks auf beide Mündungen des Ansatzes. Derselbe bewirkt einerseits, vom Puncte der stärksten Zusammenziehung an, eine allmählige Verzögerung der Ausflussgeschwindigkeit, während er andererseits die Geschwindigkeit des Einflusses in das Mundstück beschleunigen hilft und dadurch eine Vergrösserung der Ausflussmenge herbeiführt.

Fig. 62.

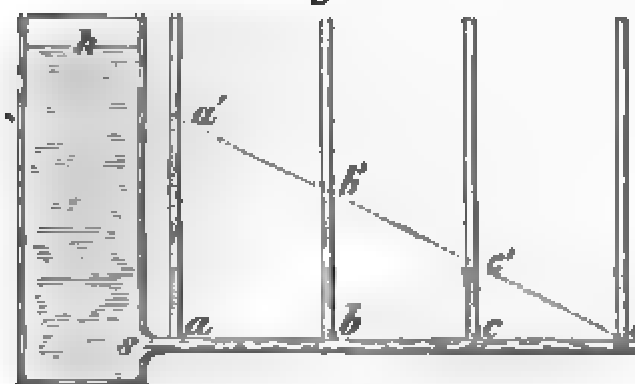


Die Ausflussmenge kann unter Mitwirkung des Luftdrucks und der Geschwindigkeit noch weit mehr vergrössert werden durch Mund sich nach Aussen hin konisch erweitern. Wenn man ein derartiges dessen kleinster Durchmesser ungefähr zweimal in dem grössten u in der Länge enthalten ist, mit einem andern verbindet, das nach der Zusammenziehung des Strahls gebildet ist, so steigt der Ausflussc zu 1,25.

Wenn der Ausfluss in einen luftleeren Raum geschieht, so lässt kurz-cylindrische oder nach Aussen sich konisch erweiternde Aus Vergrösserung der Ausflussmenge bewirken.

216. Wenn das Wasser durch längere cylindrisch (Röhrenleitungen) fliessen muss, verliert es durch di kommne Beweglichkeit seiner Theile und durch die Re den Röhrenwänden einen grossen Theil seiner bewegen

Fig. 63.



An der Seitenwand hälters (Fig. 63) bei ein Mundstück nach d der Zusammenziehu ein cylindrisches Roh beliebiger Länge au lange man die Ausm geschlossen hält, beh Flüssigkeit in den v nen, mit dem cylindris communicirenden senkrechten Glasröhren *a*, *b*, *c* und Höhe, wie im Behälter. So wie aber der Ausfluss begi das Wasser in allen und verschwindet ganz aus der letz unmittelbar über der Ausmündung angebracht ist. Die geschwindigkeit entspricht dem Drucke einer Wassersäu Höhe gleich ist dem Unterschiede des Wasserstandes im und in dem unmittelbar vor dem Mundstücke sich erhebe rohr *a a'*. Der ganze übrige Theil der Druckhöhe *h s* durch die Widerstände verzehrt. Stehen die Glasröhren *a*, in gleichen Entfernungen von einander, so findet man, Wasserstände in denselben von einem zum andern um abnehmen. Hieraus folgt, dass der Widerstand sich wie die Länge des Leitungsrohrs. Um z. B. de stande von *a* bis *b* das Gleichgewicht zu halten, ist die *a a'* — *b b'* verwendet worden; der Druck der Wassersäul mehrt um den Widerstand im Leitungsrohr von *b* bis *a* dem Drucke der Wassersäule *a a'*. Bis zum Puncte *d* hin des Rohrs, ist die ganze bewegende Kraft verwendet wor zur Hervorbringung von Geschwindigkeit, theils um d ständen das Gleichgewicht zu halten; an dieser Stelle e her die Wand des Leitungsrohrs gar keinen Druck mehr.

In gleich langen, aber ungleich weiten cylin Röhren bemerkt man bei gleicher Ausflussge digkeit ungleich grosse Widerstände, die sich

ten umgekehrt wie die Durchmesser der Leitungsröhren. Vermehrt sich die Geschwindigkeit, womit das Wasser durch ein Leitungsrohr strömt, so wächst der Widerstand, und zwar, wiewohl nicht genau, im Quadrate der Geschwindigkeit.

Da die Wände der Röhrenleitungen von dem durchströmenden Wasser in der Regel benetzt werden, so bewegt sich dieses eigentlich zwischen Wasserwänden. Allein ein unvollkommner Grad der Flüssigkeit verhindert die ganze freie Beweglichkeit der Wassertheile unter einander und bewirkt dadurch einen Aufenthalt überall, wo das Wasser über feste, wenn auch benetzte Flächen hingleiten muss. Die hieraus entspringenden Widerstände sind es, welche mit dem Namen Wasserreibung bezeichnet werden. Da die Flüssigkeit in jedem Querschnitte des cylindrischen Rohrs dieselbe mittlere Geschwindigkeit besitzen muss, so sieht man leicht, dass jeder Umkreis der Röhrenwand zur Wasserreibung gleich viel beiträgt und einen um so grösseren Verlust herbeiführt, je mehr ... einer gleichzeitig hindurchfliessenden Wassermenge damit in Berührung ...nmen kann. Der zur Ueberwindung des Widerstandes erforderliche Druck, ... Antheil der vorhandenen bewegenden Kraft, verhält sich daher direkt wie ... ganze innere Wandfläche, und umgekehrt, wie der Querschnitt des Rohrs ...ler vielmehr wie die Anzahl bewegter Wasserfäden); woraus das direkte ...hältniss der Länge, so wie das umgekehrte des Durchmessers leicht abge...et werden kann. Die jeden Augenblick eintretenden Geschwindigkeits-Ver...te müssen durch die bewegende Kraft stets wieder ersetzt werden; nun sind ...r die zur Hervorbringung von Geschwindigkeit erforderlichen Druckhöhen ...m Quadrate der Geschwindigkeit proportional. In gleicher Weise müssen da...r auch die an allen Puncten der Röhrenwand verzehrten und wieder erneuerten ...eschwindigkeiten eine bewegende Kraft in Anspruch nehmen, die dem Quadrate ...r Geschwindikgeit oder der Geschwindigkeitshöhe selbst proportional ist. — ...iese Folgerung würde mit dem Resultate der Erfahrung genau übereinstimmen, ...enn das Wasser in allen Puncten ein und desselben Röhrendurchschnitts einer... Geschwindigkeit besässe; man bemerkt jedoch stets eine Zunahme derselben ... der Wand nach der Mitte hin. Die mittlere Geschwindigkeit, nach der Aus...ssmenge berechnet, ist daher immer grösser, als die durch den Widerstand ... Röhrenwände fortwährend verloren gehende. Die zum Wiederersatze nöthi...n Druckhöhen sind folglich einem Werthe proportional, der nie ganz so gross ...rd, als das Quadrat der mittleren Geschwindigkeit. Da nun ferner der Unter...ied zwischen den Geschwindigkeiten in der Mitte und an den Wänden des ...hrs sich um so grösser erweist, eine je raschere Strömung überhaupt statt...det, so kommt es, dass man durch Annahme der mittleren Geschwindigkeit in ...r Rechnung einen veränderlichen Fehler begeht, der durch eine Zunahme des ...iderstandscœfficienten (nämlich derjenigen Zahl, welche für Röhren ... 1 Fuss Länge und 1 Fuss Durchmesser bei 1 Fuss Geschwindigkeit die ... der Reibung als Wasser-Druckhöhe darstellt) bei abnehmender Bewe...ng sichtbar wird.

Offne Gerinne sind gleichsam Längenabschnitte von Röhren; durch ...ung an ihren Seitenwänden wird daher die Bewegung des Wassers aus den... Gründen und nach denselben Gesetzen wie in geschlossenen Röhren ver...rt. Während jedoch in den letzteren die Flüssigkeit nach allen Richtungen ...egt und sogar aufwärts getrieben werden kann, insofern nur der Ausguss ...iger liegt als der Spiegel des Behälters, findet man, dass in offnen Gerinnen ... Oberfläche des Wassers, so lange der Abfluss dauert, stets gleich einer schie... Ebne geneigt ist Die Länge eines Gerinnes dividirt durch die ganze Senkung ...er Oberfläche, oder die Senkung auf die Einheit des Wegs, wird sein Gefälle ...nnt. Wenn Wasser durch ein offnes Gerinne mit gleichförmiger Geschwin...keit strömt, so bezeichnet das Gefälle die zur Ueberwindung der Bewegungs...dernisse für die Einheit des Wegs erforderliche Kraft. Die Geschwindigkeit

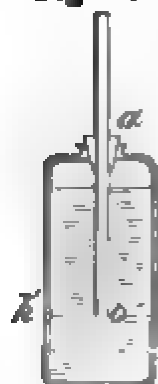
selbst ist proportional der Quadratwurzel aus dem Gefälle. Anwendun Bewegung des Wassers in Kanälen und Flüssen.

217. Die Ausflussgesetze des Wassers gelten zugleich übrigen tropfbaren Flüssigkeiten. Z. B. Quecksilber, We Oel fliessen durch Oeffnungen in dünnen Platten, bei gleich des Spiegels mit derselben Geschwindigkeit aus wie das Wird dagegen eine Flüssigkeit durch das Gewicht einer and ungleicher Dichtigkeit, z. B. Wasser durch den Druck eine silbersäule, in Bewegung gesetzt, so ändert sich die Gesch keit des Ausflusses im geraden Verhältnisse zur Quadr aus der Dichtigkeit.

Die Bewegungshindernisse bei verschiedenen Flüss ändern sich mit dem Grade ihrer Dünnflüssigkeit. Z. B. W strömt durch Röhren mit grösserer Leichtigkeit als das warmes Wasser leichter als kaltes.

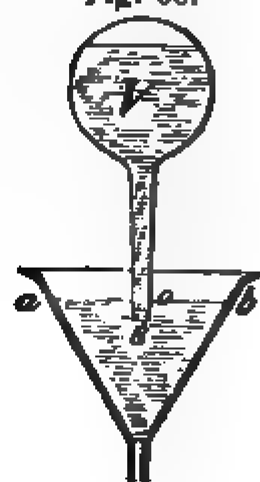
218. Wenn irgend eine Flüssigkeit mit gleichförmig for der Geschwindigkeit ausfliessen soll, ist es nothwendig, gel des Behälters unveränderlich zu erhalten, d. h. es m fortwährend so viel zugesetzt werden, als unten abflie kann diesen Zweck auf folgende Art erreichen: Ein ges

Fig. 64.



Gefäss (Fig. 64), das mit zwei Oeffnungen *a* u sehen ist, wird mit der Flüssigkeit angefüllt u ein offnes Glasrohr vermittelst eines Korks in nung *a* luftdicht eingepasst. Der Ausfluss geschie die Oeffnung *b*, während eine entsprechende L durch das offne Glasrohr nachdringt und sich im über der Flüssigkeit ansammelt. So lange die noch höher steht als die Mündung *o* des Rohrs, Ausflussgeschwindigkeit beständig und von de höhe *h b* abhängig, weil alles über dem Niveau h l liche Wasser durch den Druck der äusseren Luft getragen Geschwindigkeit vermindert sich daher, wenn das Rohr tief senkt wird, und hört ganz auf, wenn die Mündung *o* in de oder noch darunter steht. Dieser Apparat ist von Mariotte e

Fig. 65.

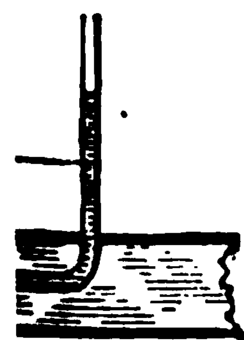


Auf demselben Principe beruhend ist die häufiger angewendete Vorrichtung. Ein Gefä 65) wird mit der Flüssigkeit gefüllt, umgest unter den Spiegel der Flüssigkeit eines zw hälters so tief eingesenkt, dass eine klein öffnung o oben den Spiegel *a b* berührt. In der zweite Behälter sich entleert und sei sinkt, gelangt die Oeffnung *o* über die Wass Luft dringt ein und bewirkt den Ausfluss enthaltenen Flüssigkeit, wodurch das Ni unteren Behälters in einer gewissen Höhe erhalten wird.

Hydraulischer Druck. Wenn fliessendes Wasser auf
e Fläche und im Allgemeinen auf einen Widerstand trifft,
es durch den Gegendruck desselben zunächst von der an-
n Richtung seiner Bewegung abgelenkt, verliert aber,
es sich längs der widerstehenden Fläche nach allen Rich-
uszubreiten sucht, durch die Wasserreibung allmählig
schwindigkeit. Da die stossende Flüssigkeit diesen Ver-
ewegung nur allmählig und nicht unmittelbar beim Zu-
·effen mit dem Widerstande erleidet, so kann der Wasser-
iesem Falle keine Erschütterung des gestossenen Körpers
und ist in der That mehr einem Drucke zu vergleichen.
aher zur Unterscheidung von dem hydrostatischen Drucke
m Drucke des ruhenden Wassers) hydraulischer
enannt.

ine ebne Fläche der Richtung des Stromes rechtwinklig entgegen-
l vermag sie, ohne auszuweichen, die ganze Wirkung des hydrau-
ckes aufzunehmen, so findet man die Grösse desselben gleich dem
chen Drucke; oder mit andern Worten: das Maass des hydraulischen Druckes in diesem Falle ist das Gewicht einer Wassersäule, welche den Querschnitt des stossenden Wassers zur Grundfläche und die Geschwindigkeitshöhe zur Höhe hat. Verbindet man z. B. mit einem Wasserleitungsrohr (Fig. 66) zwei senkrecht aufwärts gerichtete Glasröhren, von denen die eine in der Mitte des Leitungsrohrs rechtwinklig umgebogen und dadurch ihre Einmündung der Richtung des Stroms entgegengesetzt ist, so werden die in beiden sich erhebenden Wassersäulen ungleiche Höhen behaupten; der Unterschied entspricht der Geschwindigkeitshöhe.

. 66.



ler Stoss des Wassers gegen einen Körper gerichtet ist, dessen Wi-
cht gross genug ist, um dem ganzen hydraulischen Drucke das Gleich-
lten zu können, geht nur ein der Grösse des Widerstandes gleicher
s Druckes auf den Körper über, und derselbe beginnt sich in Bewe-
zen, mit einer Geschwindigkeit, die derjenigen, welche das Wasser
beibehalten hat, gleich ist. Anwendung auf die Schaufelräder oder
n unterschlächtigen Räder. Der Bewegungseffect des fliessenden Was-
: sich wie die Ausflussmenge multiplicirt mit dem Quadrate der Ge-
eit. Da nun das stossende Wasser, wenn es, wie bei den Schaufel-
Hervorbringung eines Nutzeffectes dienen soll, einen Theil seiner
beibehalten muss, so ist es einleuchtend, dass der hydraulische Druck
kraft unfähig ist, einen dem ganzen Bewegungseffecte gleichen Ar-
n erzeugen.

hydraulischen Drucke wohl zu unterscheiden ist der Stoss des
geschlossenen Kanälen (z. B. in Leitungsröhren), der jedesmal
ass, wenn die ganze in Bewegung befindliche Flüssigkeit durch
stand plötzlich aufgehalten wird. Das Wasser drückt in diesem
le Puncte der Röhrenwand zwar nur einen Augenblick, aber mit
rossen Gewalt, die der ganzen bewegten Masse und dem Quadrate
windigkeit proportional, und daher fähig ist, sehr bedeutende Wider-
berwinden.

ung auf den Stossheber oder hydraulischen Widder, eine Erfindung
er's (Gehl. Wörterb. B. VIII, S. 1103).

Ausfluss gasförmiger Körper.

220. Wenn ein gasförmiger Körper, z. B. die Luft, au
Seite einer Scheidewand eine stärkere Spannung besit
der andern, so fliesst er nach der Seite des geringer
durch jede in der Wand angebrachte Oeffnung. Die Ge
keit dieser Bewegung ist unveränderlich, so lange sich
nungsunterschied nicht ändert; sie vergrössert sich n
nahme dieses Unterschiedes, ist übrigens ganz unabh
der Grösse des Raumes (des Behälters), worin das s
spannte Gas sich befindet.

221. Da die Möglichkeit des Ausflusses der Luft o
eines anderen Gases wesentlich darauf beruht, dass
theilen von der Seite der Oeffnung her ein geringerer
gegenstehe, so folgt, dass das Gas in der Nähe der Oe
der beginnenden Bewegung zugleich sich ausdehnen
dass, sobald es die grösstmögliche Geschwindigkeit
men hat, es auch das ganze Uebergewicht seiner
verloren hat.

222. Die Ausflussgesetze der Gase lassen sich a
tropfbaren Flüssigkeiten zurückführen, wenn man da
mende Gas als unzusammendrückbar und von gleicher
mit dem äusseren betrachtet, und indem man ferner
schied des inneren gegen den äusseren Druck so an
werde er durch das Gewicht einer Gassäule von ents
Höhe, bei derselben Spannkraft, wie sie das äussere G
hervorgebracht. Von dieser Betrachtungsweise ausgeh
man die Ausflussgeschwindigkeit durch Oeffnungen
Platten, proportional der Quadratwurzel aus der Höhe de
den Gassäule. Durch Oeffnungen oder Mundstücke von
dener Gestalt fliessen, ähnlich wie bei den tropfbaren F
ten, ungleiche Gasmengen; wesshalb die Bestimmung
flussmenge Kenntniss des der Oeffnung entsprechende
Coefficienten voraussetzt.

Das Uebergewicht der Spannkraft der in einem Behälter eing
Luft pflegt man mittelst des Manometers (200) zu messen, und de
wicht einer Quecksilber- oder Wassersäule auszudrücken. Gesetz
achtete Höhe der Wassersäule sey h; die Dichtigkeit des eingeschlo
bezogen auf den Druck ausserhalb des Behälters, sey δ, wenn da
Gewicht des Wassers als Einheit genommen wird, so ist die gesuc
Gassäule $\frac{h}{\delta}$, nämlich so viel höher als h, wie das Wasser dic
das Gas.

Beispiel: Die Dichtigkeit der Luft bei dem Barometerstande b u
peratur t° ist: $\delta = \frac{1}{770} \cdot \frac{b. 273}{336,9\ (273 + t^\circ)}$; (204) folglich die Höh
säule, welche denselben Druck ausübt, wie die Wassersäule h,

$\frac{36,9\,(273 + t^{\circ})}{273.\,b}$ h. Die Ausflussgeschwindigkeit findet man dann v =
l.

Gase erleiden beim Ausfluss durch Oeffnungen in dünnen Platten eine tion, welche wie bei den tropfbaren Flüssigkeiten veränderlich ist. Sie ib, wenn die Höhe der drückenden Gassäule oder wenn die Ausflussgeigkeit geringer wird, dergestalt, dass bei gleicher Geschwindigkeit und ler Oeffnung der Ausflusscoefficient für die Luft mit dem für das Wasser n fast übereinstimmt.

den Blasebälgen und den grösseren Gebläse-Maschinen, die auf den erken angewendet werden, lässt man die verdichtete Luft gewöhnlich urze, konische, nach Aussen sich verengernde Ansätze (sogenannte ausströmen. Die konische Verjüngung derselben entspricht einem Winkel is 5°, und der Ausflusscoefficient bezogen auf den kleinsten Querschnitt e schwankt je nach der Grösse der Geschwindigkeit zwischen 0,80 und Zweckmässiger würde es seyn, statt der konischen Düsen solche zu die genauer nach der Gestalt der Contraction gebildet sind. Die Ausigen würden dann bei veränderter Druckhöhe weniger schwanken.

te cylindrische Ansätze vermehren die Ausflussmenge auf Kosten der indigkeit. In noch auffallenderem Grade geschieht dies durch konisch issen sich erweiternde Mundstücke, aus Gründen, die bereits in Nr. 215 t worden sind. Befindet sich an der Seitenwand des Mundstücks eine g, so strömt Luft durch dieselbe ein. Leitet man von dieser Oeffnung ein r senkrecht abwärts in ein Gefäss mit Wasser oder Quecksilber, so steigt sigkeit zu einer Höhe, die genau die Grösse der Mitwirkung des Lufttbezeichnet.

67. Hierher gehört auch die folgende Erscheinung: Eine leichte frei aufgehängte Scheibe *c d*, dem durch die Oeffnung *o* eines Behälters austretenden Gasstrome aus einiger Entfernung dargeboten, wird abgestossen. Befindet sich aber die Oeffnung *o* in der Mitte einer ebnen Fläche *a b*, und hat man die bewegliche Scheibe über eine gewisse Grenze hinaus genähert, so wird sie nicht abgestossen, sondern mit beschleunigter Bewegung angezogen, bis zwischen beiden Scheiben nur noch ein schmaler ringförmiger Zwischenraum bleibt, der nunmehr gleichsam die äusserste Ausmündung der Oeffnung bildet und durch welchen das Gas mit von *o* aus abnehmender Geschwindigkeit ausströmt.

Wenn der aus einer konischen Düse (Fig. 68) entweichende Gasstrom genöthigt ist, durch ein kurzes, an beiden Seiten offenes cylindrisches Rohr *a b* zu gehen, so tritt ein ganz ähnliches Verhalten ein, wie bei einem kurzen cylindrischen Ansatze. Die ausströmende Luft füllt die ganze Ausmündung *b* des Rohrs, und ihre Bewegung wird verlangsamet, während bei *a* die äussere Luft mitgerissen oder eingesaugt wird. Es fliesst also bei *b* mehr aus, als der Pressung im Behälter und der Weite der Düse entspricht, jedoch auf Kosten der Geschwindigkeit. Man hat von diesem Verhalten eine nützliche Anwendung gemacht, um mittelst eines Dampfstroms und ohne Beihülfe eines Schornsteins den zur Belebung des Feuers nöthigen Zug hervorzubringen.

Fig. 68.



Ausströmende Gase, auch wenn sie nicht genöthigt durch einen weiteren, von festen Wänden eingeschlossenen Kanal zu breiten sich bei allmählig abnehmender Geschwindigkeit mehr und indem sie die umgebende Luft ringsum mit sich fortreissen und sich mengen. Der durch enge Oeffnungen ausströmende Dampf, so wie die

Flamme des Leuchtgases nehmen aus diesem Grunde eine Gestalt an, die der-
jenigen eines umgestürzten Kegels ähnlich ist. Aus diesem Umstande erklä
sich auch die rasche Abkühlung erwärmter, durch enge Oeffnungen ausflie
sender Gase.

Wenn gasförmige Körper durch längere cylindrische Röhren fliessen müss
erfahren sie einen von der Beschaffenheit, insbesondere von der Glätte der Rö
renwand abhängigen Widerstand, der übrigens wie bei den tropfbaren Flüssig
keiten im direkten Verhältnisse zum Quadrate der Geschwindigkeit und d
Röhrenlänge, aber im umgekehrten des Durchmessers steht. Dieser Widerst
als Wassersäule ausgedrückt, ist in ein und demselben Rohr für alle Gase, b
jeder Temperatur und Dichtigkeit gleich gross, wenn die Geschwindigkeitshö
ebenfalls als Wassersäule ausgedrückt, stets dieselbe bleibt. (Studien d
Götting. Bergmännischen Vereins, Bd. IV, S. 131.)

223. Verschiedene Gase bei gleicher Spannkraft, fliessen dur Oeffnungen von ganz gleicher Beschaffenheit mit Geschwindig keiten aus, die sich verhalten umgekehrt wie die Quadratwurz aus der Dichtigkeit oder direkt wie die Quadratwurzeln aus d specifischen Expansivkraft (206) dieser Gase.

Der Grund ist, weil die Höhe der drückenden Gassäule bestimmt wird, ind
man den Stand des Manometers durch die Dichtigkeit des Gases dividirt. Z
eine Wasserstoffsäule, welche denselben Druck ausüben soll, wie eine Sau
stoffsäule, muss eine 16mal grössere Höhe besitzen. Der ausfliessende Wass
stoff ist also gleichsam von einer 16mal grösseren Höhe herabgefallen, als d
unter ganz gleicher Pressung ausfliessende Sauerstoff. Die Geschwindigk
des ersteren ist daher viermal so gross als die des letzteren.

Erwärmung vermehrt das eigenthümliche Expansivvermögen der Gase u
vergrössert folglich auch bei übrigens unverändertem Stande des Manomet
ihre Ausflussgeschwindigkeit. Durch die Ausdehnung wird nämlich die drü
kende Gassäule H gleichsam im Verhältnisse von $\frac{273 + T}{273 + t}$, also die Geschwi
digkeit im Verhältnisse von $\sqrt{\frac{273+T}{273+t}}$ vergrössert. Die absolute Ausfl
menge dagegen verändert sich im Verhältnisse von $\frac{273 + t}{273 + T}$; (202). Von wa
mer Luft strömt daher unter ganz gleichem Drucke weniger aus als von kalter L

224. Bedingungen des Zugs in den Oefen. Die Luft de
sich durch Erwärmung aus und wird leichter; wenn daher ein
einem Ofen in Verbindung stehendes aufwärts gerichtetes R
(der Schornstein) mit Luft von höherer Temperatur als die
sere angefüllt ist, so erleidet die Basis dieser erwärmten Lufts
der Rost, gleichwie die unmittelbar über dem Roste (im Fe
raum) befindliche Luft von Innen einen geringeren Druck als v
Aussen. Hierdurch entsteht der Zug oder der Einfluss der äusse
stärker gespannten Luft durch die Zwischenräume der Roststä
in den Feuerraum. Die Fortdauer und Gleichförmigkeit des Zu
hängt davon ab, dass die einströmende Luft den Zustand der in
ren annimmt und, nachdem sie zur Verbrennung gedient hat, v
mittelst des Schornsteins an einer höheren Stelle wieder na
Aussen geführt wird. Um die Stärke des Zugs oder die Grösse
Geschwindigkeit, womit die äussere Luft in den Feuerraum e

dringen kann, zu bestimmen, muss man das Uebergewicht der äusseren Spannung als eine Gassäule von derselben Beschaffenheit wie die innere Luft in Rechnung nehmen (222). Geschwindigkeit und Menge der einströmenden Luft lässt sich dann leicht ermitteln.

Es sey H die senkrechte Höhe des Schornsteins, T die mittlere Temperatur der gleich hohen warmen Luftsäule, t die äussere Temperatur. Eine Säule der kälteren Luft von der Höhe H würde einer warmen Luftsäule von der Höhe H $\frac{273+T}{273+t}$ das Gleichgewicht halten können (202); das Uebergewicht des äusseren Drucks als Luftsäule von der Temperatur T berechnet, entspricht folglich der Höhe $\frac{273+T}{273+t}.H - H = \frac{T-t}{273+t}H$. Die nach dieser Druckhöhe berechnete Einflussmenge $M' = f\sqrt{2c\frac{(T-t)H}{273+t}}$ bezieht sich jedoch auf Luft, welche bereits die mittlere innere Temperatur angenommen hat, und gibt folglich keine ganz richtige Vorstellung von der Stärke des Zugs, nämlich von der Menge einströmender kalter Luft, von welcher allein die Lebhaftigkeit der Verbrennung abhängt. Die Einflussmenge M' auf die äussere Temperatur reducirt führt zu der Gleichung $M = f\sqrt{2c\frac{(273+t)(T-t)H}{(273+T)^2}}$, aus der sich nunmehr ein richtiges Urtheil ziehen lässt über den Einfluss, welchen Schornsteinhöhe und mittlere Temperatur der Schornsteinluft auf die Stärke des Zugs ausüben können.

Man findet, dass die Geschwindigkeit des Zugs der Quadratwurzel aus der senkrechten Höhe des Schornsteins proportional ist; dass sie hingegen durch Temperaturerhöhung nur in einem abnehmenden Verhältnisse begünstigt wird, in der Art, dass durch Erwärmung der inneren Luftsäule über eine gewisse Temperatur (ungefähr 273°) hinaus sogar eine Abnahme des Zugs entstehen muss.

Die Stärke des Zugs hängt aber auch von der Grösse des Widerstandes ab, welchen der Luftstrom im Innern des Ofens und des Schornsteins erfährt. Nun weiss man, dass strömende Flüssigkeiten an den Wänden der Leitungsröhren einen Widerstand erleiden, der dem Quadrate der Geschwindigkeit proportional ist. Eine möglichst grosse Einflussgeschwindigkeit knüpft sich also an die Bedingung einer möglichst langsamen Bewegung im Schornstein. Diese Bedingung wird hinreichend erfüllt, wenn der Querschnitt des Schornsteins und überhaupt des ganzen Abzugskanals für die abgenutzte Luft an keiner Stelle weniger beträgt als der Flächeninhalt der Rostöffnungen zusammengenommen. Hierbei ist freilich vorausgesetzt, dass der Rost mit dem Brennstoffe stets vollständig bedeckt bleibe, ohne doch davon verstopft zu werden.

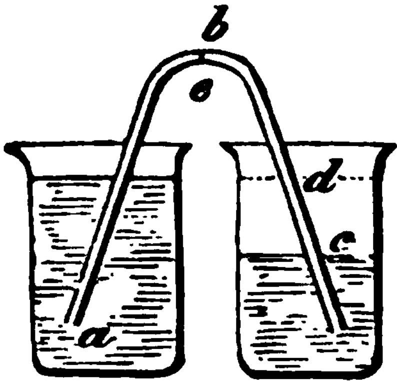
Hydraulische und pneumatische Apparate.

225. Die Gesetze des Gleichgewichts und der Bewegung flüssiger Körper bilden die Grundlage zur Erklärung zahlreicher Ma-

schinen und Apparate. Wir begnügen uns, einige der
Geräthschaften des praktischen Physikers und Chemike
sonders hervorzuheben.

226. Der Heber. So nennt man ein umgebogenes
Glas oder Metall, welches gebraucht wird, um eine Flüs
ihrem Behälter zu ziehen, ohne eine Oeffnung daran an

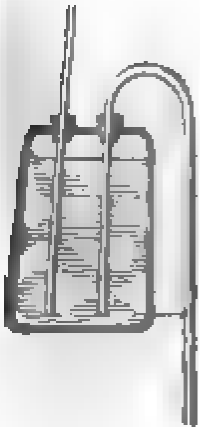
Fig. 69.



Zwei offene Gefässe (Fig. 69) enth
ser oder eine andere Flüssigkeit. Das
a b c, ebenfalls damit gefüllt und gleic
dem einen Schenkel in das eine Gefä
andern Schenkel in das andere Gef
stürzt, bleibt voll (193); die enthalte
keit wird durch den Luftdruck getrag
die Wasserspiegel in beiden Gefäss
selben wagrechten Ebene, so besit
den beiden Schenkeln des Hebers eingeschlossenen Wa
gleiche lothrechte Höhen und halten einander das Glei
beide äussern einen gleich starken Zug auf den senkre
schnitt *b e* am Scheitel des Rohrs. Steht die Flüssigke
Gefässe niedriger als im andern, so sind die Wassersä
den Schenkeln des Hebers nicht mehr gleich hoch, und
auf der Seite der höhern Säule ein, dem Höhenunters
beider Wasserspiegel gleiches Uebergewicht des Zuges
ser sinkt daher in diesem Theile des Rohrs. Weil aber
wegen des Drucks der Luft stets gefüllt bleiben muss, s
a eine eben so grosse Menge Flüssigkeit nachdringen,
andern Seite ausfliesst. Diese Bewegung geht mit
schwindigkeit vor sich, die in jedem Augenblicke de
wurzel aus dem Unterschiede *d c* beider Wasserspie
tional ist. Das zweite Gefäss ist nicht wesentlich, um
in Gang zu setzen; wird es entfernt, so ist die Grösse
gewichts (die Druckhöhe) gleich dem lothrechten Ab
flüssigen Oberfläche von der Ausmündung des äussern
ganz so, als ob diese Ausmündung unmittelbar in der G
angebracht wäre. — Der Luftdruck ist, wie man sich
Ursache des Ausflusses, er dient nur, das Heberrohr
halten. Im luftleeren Raum hört die Wirksamkeit des I
weil das Steigrohr *a b* nicht gefüllt bleibt. In der Atmo
die lothrechte Erhebung desselben über den Spiegel de
32 Fuss nicht übersteigen. Um Quecksilber abzuziehe
Heberrohr nicht 28 Zoll hoch seyn.

Die Schnelligkeit, womit das Wasser mittelst des
fliesst, nimmt ab, je mehr sich der Spiegel der Flüs
niedrigt. Man kann einen gleichförmig fortdauernd
erhalten, wenn man den Heber mit Hülfe einer geeigne
tung auf dem Wasser schwimmen lässt. Die in Fig. 70 a

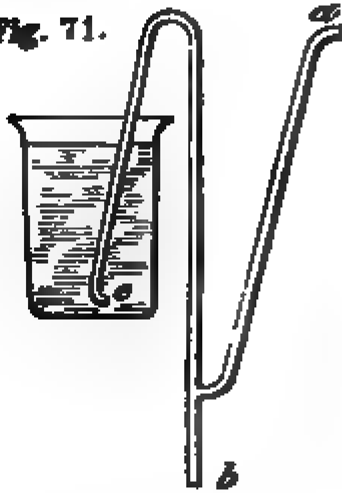
Fig. 70.



Abänderung des mariottischen Gefässes (siehe Fig. 64) gestattet ebenfalls einen gleichbleibenden Abfluss.

Das Anfüllen des Hebers kann, bevor er umgestürzt ist, leicht durch Eingiessen von Wasser bewerkstelligt werden. Taucht der eine Schenkel bereits in die Flüssigkeit ein, so füllt man ihn durch Saugen an der Mündung des andern Schenkels. Um scharfe und ätzende Flüssigkeiten abzuziehen, können Heber von der Einrichtung Fig. 71 oder 72 gebraucht werden.

Fig. 71.



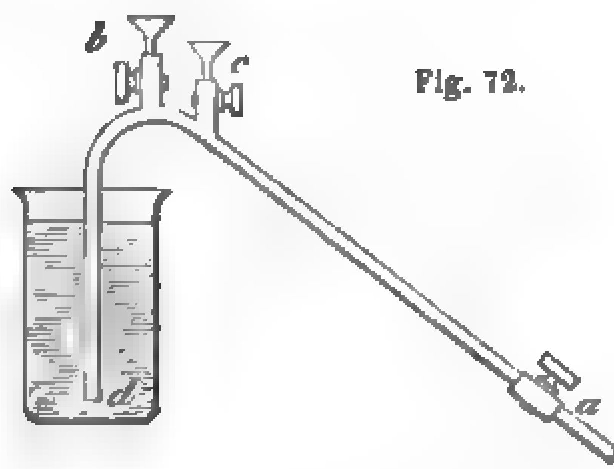


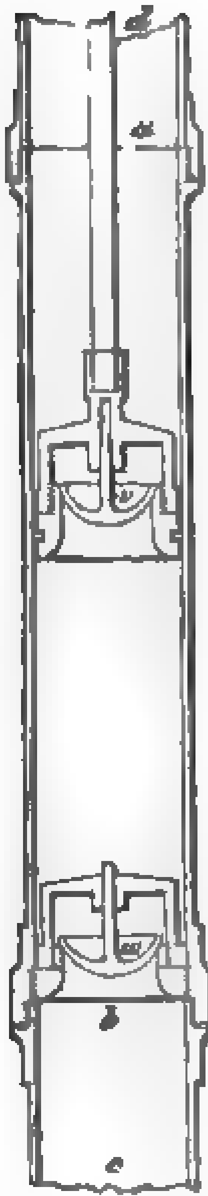
Fig. 72.

Während das Ende *c* Fig. 71 in die Flüssigkeit taucht, wird die ffnung *b* mit dem Finger geschlossen und bei *a* gesaugt, bis ch das Rohr gefüllt hat. Der Heber Fig. 72 hat vier Oeffnungen, von elchen drei mit Hahnen verschliessbar. Während der Hahn *a* zu t und der Schenkel *d* in der Flüssigkeit steht, wird von derselben ssigkeit durch den Trichter *c* eingegossen; *b* dient, um der ft einen Ausweg zu schaffen. Ist das Rohr angefüllt, so schliesst n die Hahnen *b* und *c* und öffnet *a*.

Der Stechheber ist ein gerades, offnes, ziemlich weites Rohr t engen Mündungen. Senkt man dasselbe in eine Flüssigkeit, so gt diese ein und steigt darin zu derselben Höhe, welche sie sserhalb einnimmt. Hält man sodann die obere Oeffnung mit dem nger zu, so kann man den Stechheber aus der Flüssigkeit nehn, ohne dass etwas ausfliesst.

227. **Die Wasserpumpe.** Den Haupttheil der Pumpe bildet n cylindrisches Rohr, der Stiefel *ab* (Fig. 73), worin ein lben wasserdicht auf und nieder beweglich ist, und dessen rbindung nach Aussen durch zwei Ventile *v* und *w*, die sich ide von Unten nach Oben öffnen, bewerkstelligt wird. Das genannte Saugventil *w* sitzt am Boden des Stiefels, das Steigventil *v* ist entweder, wie in Fig. 69, im Kolben oder

Fig. 73.



an der Seitenwand des Stiefels angebracht. der Stiefel nicht unmittelbar in das Wasser, der Pumpe gehoben werden soll, eingesenk befindet sich unter dem Saugventil luftdicht Stiefel befestigt ein zweites Rohr *b c*, das rohr, dessen unteres Ende in das Wass und dadurch die Verbindung desselben mit d herstellt. Das Spiel der Wasserpumpe ist Luftpumpe (192) ganz ähnlich. Wird de aufgezogen, so bleibt das Ventil *v* durch d der äussern Luft geschlossen, während *w* s und die Luft im Saugrohr verdünnt wird. dringt ein ohne beim Niedergang des Kolb durch das Saugventil sogleich geschloss wieder zurückfliessen zu können. Auf die wird nach mehreren Kolbenspielen, verm Drucks der Atmosphäre auf die Fläche des dieses durch die Ventil-Oeffnung bis in d gehoben. Das in den letzteren eingedrung ser kann, wenn das Saugventil gut schlie mehr zurücklaufen, und wird daher durch dergang des Kolbens genöthigt, das Stei öffnen und über den Kolben zu treten. S bei fortgesetztem Betriebe, alles aufgesaug den Luftdruck gehobene) Wasser über de und kann nach und nach zu jeder beliebi geschafft werden. Zu diesem Zwecke ist Ende des Stiefels ein drittes Rohr, das St angesetzt.

Der Kolben hat von dem darüber stehenden Wasser ei zu erleiden, der, ganz unabhängig von der Weite des S durch das Gewicht einer Wassersäule gemessen wird, w Querschnitt des Stiefels zur Grundfläche und die Höhe de standes darüber zur Höhe hat (168). Die unter dem I Stiefel und Saugrohr hängende Wassersäule wird zwar Druck der Atmosphäre auf den Spiegel des Wassers in getragen; allein derselbe Druck wirkt durch das Steig auf die obere Fläche des Kolbens und strebt diesen mit Kraft abwärts zu bewegen, womit die aufgesaugte Wa gehoben wird. Hätte diese letztere z. B. die Höhe von so würde sich auf die obere Kolbenfläche der ganze Atm druck, entsprechend dem einer Wassersäule von 32 Fus untere Kolbenfläche aber (eben wegen des Gegengew Saugsäule) nur der Druck 32—*a* fortpflanzen. Von oben ein Uebergewicht von *a* Fuss wirksam, gleich als ob d saugte Wasser ebenfalls auf dem Kolben ruhte. Der auf

ıat daher in der That nicht nur das darüber stehende, son-
:h das darunter hängende Wasser zu heben, und die Be-
ft muss dem Gewichte einer Wassersäule das Gleichge-
lten, welche den ganzen Höhenunterschied (H) des oberen
ren Wasserspiegels zur Höhe und den Querschnitt (f) des
:ur Grundfläche hat.

:m Kolbenhub legt diese Wassersäule f H in der Richtung der Schwere
.änge (a) des Hubs entsprechenden Weg zurück. So oft also eine dem
Stiefels entsprechende Wassermenge oben zum Ausguss kommt, ist
ungsmoment $f\ H \times a = f\ a \times H$ verwendet worden. Man sieht
ıss (ohne Rücksicht auf Bewegungshindernisse) zum Betriebe der
z dieselbe Kraft angewendet werden muss, wie wenn alles oben ab-
Vasser unmittelbar zur Förderungshöhe H gehoben würde. Weil in-
ben und Ventile selten ganz luftdicht schliessen, so fliesst während
es fast immer etwas Wasser zurück; aus diesem Grunde, theils aber
n der Reibung des Kolbens, so wie des bewegten Wassers an den
r Röhren, beträgt die wirkliche Betriebskraft stets $^1/_{10}$ bis $^2/_{10}$ mehr
›retisch berechnete.

:hnung (Fig. 73) ist nach Verhältnissen ausgeführt, welche man als
lhaftesten anerkannt hat, um die Hindernisse der Bewegung so gering
h zu machen. — Der Durchmesser des Stiefels (bei der gewöhnlichen
: 2—3 Zoll) ist von der Grösse der Betriebskraft abhängig; seine
n der Regel nicht unter 10 Zoll betragen. Die Weite des Steigrohrs
Stiefels gleich oder doch nicht viel geringer. Der Flächeninhalt der
ngen ist die Hälfte oder ihr Durchmesser $^7/_{10}$ von der des Stiefels.
Durchmesser erhält das Saugrohr; seine Lage beträgt gewöhnlich
: als 10—14 Fuss. Das Wasser könnte zwar durch den Luftdruck bis
ı gehoben werden; allein man erspart nichts an Kraft durch eine so
säule.

sserdichte Anschliessen des Kolbens an der Wand des Stiefels wird
ı durch einen den massiven Kern des Kolbens umgebenden Lederstrei-
t. Daher der Name Liederung.

Figur 74 zeigt eine der zweckmässigsten Liederungsmethoden, welche von Henschel zuerst angewendet worden ist. Der abgedrehte metallene Kolben hat im Stiefel nur so viel Spielraum, dass er sich ohne Einklemmung bewegt. In denselben ist eine Nuth rechtwinklig eingedreht, die durch einen zusammenhängenden mit etwas Spielraum lose einliegenden Lederring ausgefüllt wird. Der Durchschnitt des Rings ist ein Quadrat. Durch den Druck des zwischen der Kolbenfläche und Stiefelwand in die Nuth eindringenden Wassers, wird der Lederring bei c nach der Fuge hingetrieben und verschliesst sich ringsum. Der hiedurch bewirkte Ab-
um so fester, je stärker der Wasserdruck, so dass also mit der Höhe
nden Wassersäule und dem vermehrten Bestreben der Flüssigkeit
'uge zu dringen, zu gleicher Zeit stets der Widerstand der Liederung
l dass folglich die durch den Druck des Leders auf die Stiefelwand
: Reibung nie grösser ist, als es die Bedingung eines genügenden
:s durchaus nothwendig macht.

herbeschriebene Wasserpumpe (Fig. 73) wird vorzugsweise eine
pe genannt. Befindet sich hingegen das zweite Ventil so wie das
n der Seite des Stiefels, wie in Fig. 75, so pflegt man ihr den Namen
Saug- und Druckpumpe oder auch schlechthin Druckpumpe
Man wendet sie hauptsächlich in solchen Fällen an, wo es unbequem
führbar seyn würde, das Steigrohr lothrecht über den Stiefel zu

Feuerspritzen sind Druckpumpen, mittelst welchen das Wasser

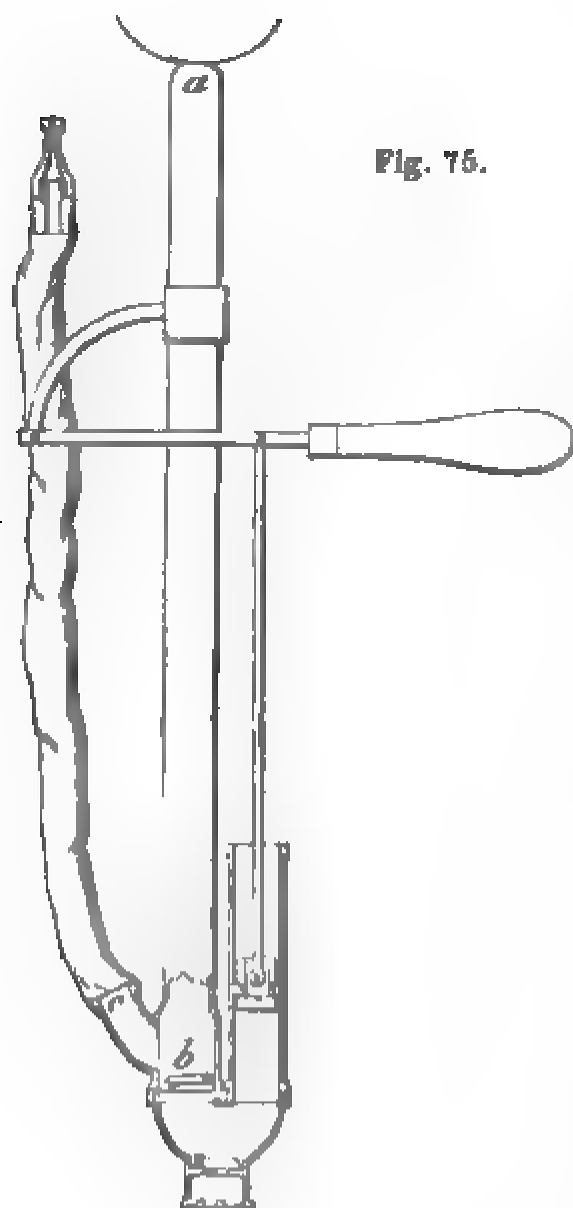


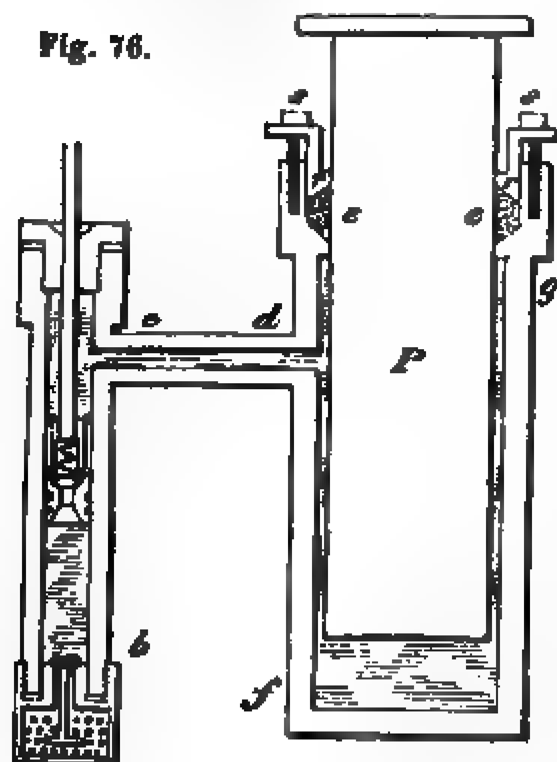
Fig. 75.

zuerst in den sogenannte
eine Art von Heronsball (
Fig. 49), gepresst und da
vermöge der fortwirkenden
dichteten Luft, in gleichför
durch eine passende Oeffnu
stück), ausgetrieben wird.
stück ist am zweckmässi
den Henschel'schen Spritz
Gestalt der Zusammenzie
Es sitzt entweder unmitte
Windkessel oder am Ende
Verbindung stehenden Schl
gur 75 zeigt den Durchsch
nen Henschel'schen Han
natürlicher Grösse; *a b*
kessel; *b c* ein von dem
hendes kurzes Ansatzroh
Schlauch angeschraubt wi
bei *a* dient zum Festhalte
während des Gebrauchs.
Feuerspritzen werden zwei
zugleich angewendet. De
das gemeinschaftliche Steig

228. **Die hyd**
Presse. Nach dem
schen Grundgesetze
ein Druck von gegebn
dem Wasser nach jed
mit gleicher Stärke f
und folglich, wenn er
bewegliche Wand w
durch blosse Vergrösse
Wand, zu jeder belieb
vervielfacht, zum Vor
men. Die hydraulisc
nach ihrem Erfinder
ma'sche Presse gena
Anwendung dieses G
den mittelst des Kol
Pumpe ausgeübten Dr
vielfachen.

Figur 76 ist ein D
einer solchen Maschin
die Pumpe vor. Das
selben eingesaugte W
durch ein Rohr *c d* in d
g f übergeführt; es drü
die Grundfläche des b
und massiven Cylind
Presscylinders, der

Fig. 76.



g gesetzt wird. Es sey F der Inhalt der Cylinder-
)uerschnittes des Pumpenstiefels, K die Kraft,
betrieben wird, so wirkt (160) auf den Press-

$$L = K \frac{F}{f}.$$

l durch eine Hebelstange bewegt, deren Arme

stehen. Auf den Presscylinder wirkt daher der

$\frac{R}{\cdot}$, wenn K die am Hebelsarme R thätige Kraft

ndet also das Verhältniss zwischen Last und
ılischen Presse, indem man das Verhältniss der
was dasselbe ist, das Verhältniss der Quadrate
es Presscylinders und des Stiefels, mit dem Ver-
lsarme multiplicirt. Z. B. bei einer kleinen hy-
, wie man sie in chemischen Laboratorien
Stiefel 5''', der Presscylinder 25''' Durchmesser
: 5, und der Quadrate wie 1 : 25), das Verhält-
e ist wie 1 : 6. Bei dieser kleinen Maschine ist

= 150 K; d. h. durch jedes Pfund Kraft werden

and überwunden, also durch die mässige Kraft
ein Mensch leicht ausüben kann, lassen sich
Bewegung setzen.

f, da wo der Cylinder *P* hervortritt, nach Aussen was-
n, kann die vorher (227) beschriebene Liederung ange-
ig. 76 zeigt eine andere Art des Abschlusses, mittelst der
ichse. *e e* ist eine Höhlung, die den massiven Cylinder
l mit Lederschnitzel, die man zuvor mit Fett getränkt und
, ausgefüllt. Ein den Cylinder umschliessender beweg-
ildet die obere Wand dieser Höhlung; er wird mittelst der
eingetrieben, bis das auf diese Weise gegen die Cylinder-
kein Wasser mehr durchlässt. Die Kolbenstange geht am
s ebenfalls durch eine Stopfbüchse. Ihr Durchmesser ist
ıde die Hälfte des innern Raums des Stiefels ausfüllt. Das
Kolbens über das Kolbenventil gelangende Wasser, findet
ıg; die Hälfte davon muss sogleich in den Behälter *g h*
esscylinder heben. Die andere Hälfte wirkt beim Aufgange
ese Anordnung bleibt also die hydraulische Presse wäh-
dergangs des Kolbens in fortdauernder Wirksamkeit.
ches Pumpe und Presscylinder verbindet, befindet sich ge-
in Ventil verschliessbare Oeffnung, deren nächster Zweck
astung der Presse über die Gränze ihrer Haltbarkeit zu
e III. Fig. 1. sieht man den Durchschnitt einer hydrauli-
diese Anordnung besitzt. Die Druckpumpe *a b* ist durch
em Presscylinder *e f* verbunden, der hier eine wagerechte
ur im Querschnitte zu sehen ist. Der Hahn *h* mit doppelter
m nach Erforderniss die in den Presscylinder eingepumpte
lassen zu können. Bei c befindet sich das Ventil. Es be-
chten Stange *c d*, deren unteres Ende kugelförmig abge-

rundet ist und auf einem engen cylindrischen Kanale *c*, mit eben und w abgeschliffenem Rande aufsitzt. Das obere Ende der Ventilstange geht b durch eine ringförmige Oeffnung, wodurch ihre lothrechte Stellung ist. Das Gewicht der Stange ist bekannt und kann durch aufgelegte *G* beliebig vermehrt werden. Es ist einleuchtend, dass die mittelst der pumpe in den Kanal *k h g* eingetriebene Flüssigkeit auf das Ventil ei so starken Druck äussert als auf einen gleichgrossen Theil der Fläche de kolbens. So oft daher der Widerstand des letzteren verhältnissmässig wird als die Belastung (das Gewicht) der Ventilstange, hebt sich die und die eingedrungene Flüssigkeit muss durch die Ventilöffnung wie treten, ohne den Presskolben in Bewegung zu setzen. Widerstehen beide hältniss zu ihren Querschnittflächen mit gleicher Stärke, so wird de kolben in Bewegung gesetzt, während zugleich ein Theil der Flüssigke das Ventil geht. Kennt man daher das Verhältniss der Weite der cylin Oeffnung *c* zu der des Presscylinders, so lässt sich aus der Summe wichte *G*, der gegen den Presskolben wirksame hydrostatische Druck nen. Die hydraulische Presse wird hierdurch ein zu manchen Zwecken, Ermittlung des Maasses bedeutender Cohäsionskräfte sehr brauchbare apparat.

Diffusion und Apsorption der Gase.

229. Wenn man eine Luftmenge von gegebnem Raum (v) und gegebner Spannkraft (b) mit einer andern Luft deren Rauminhalt (v′) und Spannkraft (b′) ebenfalls bekan in einem Raume V zusammenbringt, so bildet sich eine Spannkraft:

$$B = \frac{vb + v'b'}{V}$$

gerade so, als ob jede Luftmenge sich im ganzen Rau vertheilte und ihre dadurch veränderten Spannk sich addirten. Diess lehrt das mariottische Gesetz (200).

Verschiedenartige Gase, insofern sie nicht chemisch au ander wirken (d. h. insofern nicht ihre kleinsten Theile dur genseitige chemische Anziehung eine Veränderung in der G ihrer abstossenden Kräfte erleiden), müssen sich, in den Raum gebracht, gerade so verhalten wie gleichartige Gase; es muss ein mittlerer Druck $B = \frac{bv + b'v'}{V}$ entstehen. I Schluss wird durch die Erfahrung, z. B beim Zusammentrete Sauerstoff und Wasserstoff oder irgend zweier anderer Gas kommen gerechtfertigt.

230. Verschiedenartige Gase, die in Berührung mit ei treten, bilden, auch wenn sie nicht chemisch auf einander w nach und nach ein ganz gleichförmiges Gemenge. Ihre m Spannkraft $B = \frac{bv + b'v'}{V}$ wird dadurch nicht verändert solche Vertheilung zweier oder auch mehrerer Gase durchei findet nach und nach selbst dann statt, wenn die Behälter,

:h zuerst befinden, nur durch eine enge Oeffnung in Verbin- gesetzt werden. Dieses Verhalten ist durch die chemische se der gebildeten Gasgemenge ausser Zweifel gestellt.

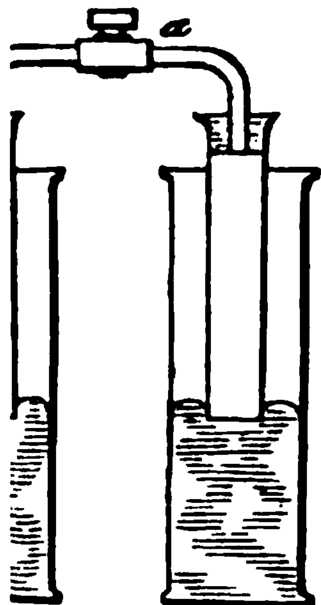


Fig. 77.

Man verbinde z. B. zwei getheilte Glascylinder (Fig. 77), welche, der eine mit kohlensaurem Gas, der andere mit Wasserstoffgas, beide über Quecksilber gefüllt sind, durch eine Glasröhre von etwa 1 Linie Weite. Im Umfange beider Gase, so lange man auch den Apparat sich selbst überlassen mag, wird keine Veränderung eintreten, welche sich nicht aus dem veränderten Thermometer- oder Barometerstande erklären liesse. Lässt man aber nach einiger Zeit und nach Abschluss des Hahns *a* in beide Behälter Aetzkali eintreten, so wird man finden, dass in beiden genau gleiche Raumtheile Kohlensäure verdichtet werden. Die Vermengung geht indessen nur langsam vor sich und erfordert, um ganz gleichförmig zu werden, wenigstens 5 bis 6 Tage Zeit.

Die atmosphärische Luft ist ein derartiges gleichförmiges Gemenge von Sauerstoff und stoff. Irgend beliebige andere Gase, die sich nicht chemisch hen, verhalten sich auf dieselbe Art. Ihre vollständige Ver- ;ung erfolgt um so schneller, je grösser der Unterschied ihrer fischen Gewichte und je weiter die Oeffnung, durch welche u einander übertreten können.

)ie Erscheinung der allmähligen Ausbreitung eines Gases in Raume eines andern hat den Namen **Diffusion** erhalten. Gase gleicher Spannkraft mengen sich durch Diffusion ohne die ge- de Veränderung ihrer Temperatur.

: Diffusion, als Eigenschaft aller ausdehnsam flüssigen Körper, die nicht ich auf einander wirken, ist von **Dalton**, wenn nicht zuerst beobachtet, uerst mit Sicherheit nachgewiesen, und als Erfahrungsgesetz auf fol- Art ausgesprochen worden: **Ein Gas verhält sich gegen das an- rie ein leerer Raum.** Bei dieser Ausdrucksweise der Erscheinung ist ch nur das Endresultat nach eingetretenem Ruhezustand berücksichtigt. t keinen Aufschluss über den Vorgang selbst oder über die Ursache en. — Die Ursache der Diffusion ist das ungleiche specifische Expansiv- ;en verschiedenartiger Gase. Werden z. B. zwei Behälter in Verbindung , von welchen der eine Sauerstoff, der andere Wasserstoff enthält, so ist chgewicht der Spannkräfte beider Gase nicht genügend um einen dauern- iezustand herbeizuführen, weil die abstossende Kraft der kleinsten Theile sserstoffs 16mal so gross ist als die der Sauerstofftheile. Erstere müssen iberall wo sie den letzteren angänzen zwischen denselben eindringen. er das hierdurch gestörte Gleichgewicht der Spannkraft alsbald wieder :llt werden muss, so gelangen auch Theile des Sauerstoffs in den Raum, ı der Wasserstoff verlassen hatte, und diese Wirkung währt fort, so s jedes Gastheilchen von allen Seiten her eine gleiche Abstossung er- h. bis eine gleichförmige Durchmengung der verschiedenartigen Gase telligt ist.

ı die Diffusion zweier Gase von gleicher Spannkraft von keiner Tem- 'eränderung begleitet ist, erklärt sich aus dem von **Dülong** bewie- ıtze (203), dass gleiche Volume verschiedener, jedoch gleich stark ge- r Gase, während ihrer Ausdehnung gleiche Wärmemengen verschlucken ler Verdichtung sie wieder frei machen.

. **Feste und flüssige Körper besitzen die Eigenschaft, wenn**

sie mit Gasen in Berührung kommen, einen bald mehr bald wenig grossen Theil derselben auf ihrer Oberfläche zu verdichten. Die Eigenschaft wird Absorption genannt. Sie zeigt sich bei versch denen Körpern zu demselben Gase, und eben so bei ein und de selben Körper zu verschiedenen Gasen in sehr ungleicher Stär bei festen Körpern am auffallendsten, wenn sie poröse oder g pulvert sind. Bei keinem Körper scheint sie ganz zu fehlen.

So sehr verschieden die Absorptionsfähigkeit verschiedener Körper ist, findet man doch im Allgemeinen, dass eine gegebene feste oder flüssige Mat von solchen Gasen die grössten Mengen einsaugt, die sich durch äusseren Dr am leichtesten in den flüssigen Zustand zurückführen lassen (siehe Tafel XII Durch die Stärke ihres Absorptionsvermögens für manche Gase zeichnen s unter den festen Körpern insbesondere aus: die Holzkohle und mehrere Met in fein vertheiltem Zustande, wie Blei und Eisen, deren pulverförmige Ox durch Wasserstoff reducirt sind, vor allen aber Platin im Zustande als Plat mohr (aus einer Platin-Chlorür-Lösung durch Weingeist niedergeschlag schwarzes Platinpulver). Das letztgenannte Präparat verschluckt nach D bereiner das 250fache seines Volums Sauerstoffgas, und wird in Folge d dabei frei werdenden Wärme bis zum Glühen erhitzt. Auch die äusserst fein ve theilte Kohle des Faulbaumholzes, so wie sie zur Pulverfabrikation verwen wird, absorbirt den Sauerstoff der Luft häufig mit solcher Schnelligkeit und solcher Menge, dass sie sich dadurch entzündet (Auber).

Man leitet die Absorptionserscheinungen von derselben Ursache ab, wi die Flächenanziehung verschiedenartiger fester und flüssiger Stoffe (. nämlich von einem eigenthümlichen gegenseitigen Anziehungsvermögen (A sionskraft), welches ihre kleinsten Theile, selbst dann, wenn sie nicht fähig si bestimmt charakterisirte chemische Verbindungen zu bilden, die einen mit gr serer, die anderen mit geringerer Stärke äussern. Diese Anziehungskraft zw schen der Oberfläche eines festen oder flüssigen Körpers und einem angr zenden Gase ist stark genug, um dem Expansivvermögen eines Theils des Ga das Gleichgewicht zu halten. Poröse und fein vertheilte Stoffe bieten der u gebenden elastischen Flüssigkeit bei gleicher Masse verhältnissmässig eine b deutend vergrösserte Oberfläche, also eine grössere Anzahl Berührungspu dar. Der Betrag der Absorption muss daher, unter sonst gleichen Umstän bei porösen Körpern der grösste seyn.

Bei den Flüssigkeiten wird die Porosität durch die grosse Beweglichkeit Theile ersetzt. Sie ist die Ursache, dass ein absorbirtes Gas, gleich einem gelösten Salze, sich nach und nach durch die ganze flüssige Masse gleichf vertheilt, und dass man die Sättigung einer Flüssigkeit mit einem Gase mein beschleunigen kann, wenn man beide im reinen Zustande zusam schüttelt. Durch Aufnahme fremdartiger Stoffe kann die Absorptionsfä eines flüssigen Körpers in auffallendem Grade verändert werden. Z. B. Wasser in einer Atmosphäre von reiner Kohlensäure absorbirt von der etwas mehr als sein eignes Volumen; Zuckerwasser nur 0,72 Volume, ges Kochsalzwasser nur 0,33 Volume und eine Lösung von Chlorcalcium nur Volume. Wirft man daher in Wasser, das mit Kohlensäure gesättigt ist, Zu oder Salz, so muss ein Theil der absorbirten Kohlensäure wieder entwei

Die Absorption der Gase in tropfbaren Flüssigkeiten wird häufig mit Worte Auflösung bezeichnet.

232. Man hat gefunden, dass die Menge, welche eine gege Flüssigkeit von einem gegebnen Gase absorbiren kann, dem V men nach gemessen, bei unveränderter Temperatur, vom Dr unabhängig ist. Z. B. reines Wasser, das bei gewöhnlicher Te ratur und unter mittlerem Atmosphärendruck 1,06 Volume Kol

—

verschluckt, wird unter jedem anderen Drucke ebenfalls 1,06 e aufnehmen. Die Gewichtsmenge eines absorbirten steht folglich in geradem Verhältnisse zum Drucke. Wasser nimmt bei 10 Atmosphärendruck 10mal so viel, bei Quecksilberstand nur halb so viel Kohlensäure auf, als un- n gewöhnlichen Luftdrucke. Im leeren Raume verlieren die gkeiten alles Gas, welches sie eingesaugt hatten.

Absorptionsfähigkeit fester Körper richtet sich nicht nach einfachen Gesetze, wenn schon sie ebenfalls vom äusseren abhängig ist und mit demselben zu- und abnimmt. Bringt B. mit Kohlensäure gesättigte Kohle in die Barometerleere, das Quecksilber. Allein die Kohle hält etwas mehr als die des Gases, womit sie sich gesättigt hatte, zurück, wenn der bis zur Hälfte vermindert wird. Auch scheint es, dass feste nicht alles Gas, welches sie eingesogen hatten, im leeren wieder abgeben.

3. Erwärmen vermindert das Absorptionsvermögen. Durch Temperaturgrade und gleichzeitiges Behandeln unter der mpe kann man daher die Körper von einem Gase, welches sorbirt hatten, wieder ganz befreien. Bei vielen festen Körpern och hierzu die Glühehitze erforderlich.

Flüssigkeiten lassen sich darin aufgelöste Gase durch längere Zeit fort- tes Sieden vollständig austreiben. Nur wenn dieses Gas Luft ist, ist Sieden der Luftpumpe erforderlich. Von der Oberfläche vieler fester Körper, Kohle, auch Glas, entbinden sich Luftblasen in Menge, wenn sie in heisses getaucht, oder auch in kälterer Flüssigkeit unter die Luftpumpe ge- werden.

Veränderlichkeit des Absorptionsvermögens mit der Temperatur und mit ucke zeigt, dass die Expansivkraft absorbirter Gase nicht in dem Grade h aufgehoben ist, wie dies bei der chemischen Verbindung eines festen ssigen mit einem gasförmigen Stoffe der Fall seyn muss. Man wird da- n der Vorstellung geleitet, dass die absorbirende Kraft auf eine gewisse, ich für unsere Sinne nicht messbare Entfernung hin wirksam ist, und glich der absorbirende Körper sich mit einer Gas-Atmosphäre von ab- ler Dichtigkeit umgibt. Zunächst der festen oder flüssigen Oberfläche, da wo sich die Anziehung am stärksten äussert, ist auch die Dichtig- angezogenen Gases ein Maximum; sie vermindert sich von hier aus lmählige Abstufungen, in der Weise, dass an jedem Puncte dieser At- e, die Spannkraft des Gases im Gleichgewichte steht mit der Stärke der n Puncte wirksamen Adhäsion und mit dem äusseren Drucke. Ver- t der äussere Druck, so wird der Betrag der Absorption auf einen ver- nd kleinen Werth zurückgeführt, gerade so wie die Luft an der Ober- r Erde, ungeachtet der von letzterer ausgehenden Anziehung, durch ne des äusseren Druckes, fast bis ins Unbegränzte verdünnt wer-

Bringt man einen Körper, der von irgend einem Gase ver- t hat, in den Raum eines anderen Gases, so verbreitet sich ch Absorption verdichtete in dem Raume des umgebenden artigen durch Diffusion. Man sagt: es dunstet ab, es ver- t. Der Betrag der Absorption nimmt hierdurch in ähnlicher nur nicht mit derselben Schnelligkeit ab, wie wenn der um-

gebende Raum leer wäre. Dieses Diffusionsphänomen hört n früher auf, als bis die im Zustande der Absorption zurückgeblie Gasmenge, der Spannkraft des frei gewordenen Antheils entspri Hat man z. B. Wasser das mit Kohlensäure bei gewöhnlichem rometerstande *b* gesättigt ist, in einen verschlossenen Behälter bracht, dessen kubischer Inhalt viermal so gross ist als der Flüssigkeit, und welcher daher mit der letzteren noch drei Vol Luft aufnimmt; so erweitert die aufgelösste Kohlensäure ihren fang von 1,06 auf 4,06 Maasstheile. Davon verbreiten sich i Raume der Luft, während 1,06 Theile von gleicher Dichtigke Wasser zurückbleiben. Die Spannkraft der entwichenen Kol säure ist also $\frac{1,06 \,.\, b}{4,06}$

Es entweicht um so mehr von einem absorbirten Gase je g ser der umgebende Raum ist, mag dieser nun leer oder mit Luft einem andern luftförmigen Stoffe, der nur nicht von der Beschaf heit des absorbirten seyn darf, angefüllt seyn. Bei Flüssigkeiten mit einem Gase gesättigt sind, lässt sich die Diffusion desselbe den Raum eines andern durch Vervielfältigung der Berührungsp befördern; indem man z. B. Kohlensäure haltiges Wasser mit schüttelt, oder indem man den Strom eines andern Gases durch Flüssigkeit leitet, wird das absorbirte Gas rasch ausgetrieben ist nunmehr einleuchtend, dass Gase, die von einem absorbire Stoffe in einem dem äusseren Drucke entsprechenden mögl grossen Verhältnisse eingesaugt werden sollen, demselben in g reinem Zustande, und unter Umständen dargeboten werden müs wobei der Stoff selbst nicht vorher schon ein anderes Gas auf men konnte.

Wird ein Körper einem Gemenge mehrerer Gase ausgesetzt kann er von jedem derselben höchstens eine solche Menge auf men, welche der Spannkraft des betreffenden Gases für sich ge men entspricht (es müssten denn die durch Absorption verdich Gase die Fähigkeit besitzen, im Raume des absorbirenden Kö sich chemisch zu vereinigen). Die wirklich absorbirten Me betragen aber meistens weniger, d. h. das Absorptionsver eines Körpers für ein gewisses Gas wird vermindert, we gleichzeitig noch ein anderes einsaugen kann, oder von die anderen bereits aufgenommen hat.

Z. B. Kohle, die an freier Luft gelegen und durch Aufnahme von Sauerstoff, hauptsächlich aber von Wasser, ihr Gewicht um 15—20 Procent mehrt hat, kann dann nur noch 15mal ihr eignes Volum Kohlensäure ein während sie im frisch geglühten und reinen Zustande 35 Volume davon a birt (Saussüre).

Das gewöhnliche Verfahren um feste Körper zu Absorptionsversuche zubereiten besteht darin, dieselben im luftleeren Raum möglichst stark z hitzen, oder dieselben wo möglich auszuglühen und dann unter Queck abzulöschen. Aus dem Quecksilber gelangen sie unmittelbar in den Raum sich das Gas befindet, welches sie einsaugen sollen.

5. Wenn ein absorbirender Körper die Scheidewand zweier
ildet, dergestalt dass er auf der einen Seite fortdauernd wie-
hält, was er auf der andern durch Diffusion verloren hat; so
rt die endliche Herstellung des Gleichgewichtszustandes,
las absorptionsfähige Gas auf beiden Seiten der porösen
ewand eine gleiche Spannkraft besitze. Ein Theil dieses
dringt daher allmählig durch die Wand, oder wenn beide
bsorbirt werden können, findet zwischen denselben ein
isch statt.

offner Glascylinder von 1 bis 1,5 Zoll Weite werde mit nasser Blase
den, die man dann durch Aussetzen an die Luft wieder trocken werden
at man ein gutes Stück Blase gewählt, so zeigt sie sich so luftdicht,
e Quecksilbersäule von 3—4 Zoll Höhe in dem Cylinder ihren Stand
lang ganz unverändert behauptet. Der Cylinder werde über Queck-
it reiner Kohlensäure ganz angefüllt und der innere mit dem äusseren
ins Gleichgewicht gesetzt. Nach mehreren Tagen findet man, dass das
ilber im Cylinder gestiegen ist und zu steigen fortfährt, bis endlich,
oraussetzung eines unbegränzten äusseren Gasraums alle Kohlensäure
n inneren Raume verschwunden ist. Verhältnissmässig geht während
Zeit nur sehr wenig Luft durch die Blase in den Raum der Kohlensäure,
n die Beendigung des Versuchs einen Zeitraum von 4—6 Wochen er-
. Auf demselben Grunde, wie hier das Entweichen der Kohlensäure, be-
e von Sömmering zuerst beobachtete Entwässerung des Weingeistes,
derselbe in Gefässen aufbewahrt wird, deren Oeffnung man mit Blase
nden hat. Der im Gefässe gebildete Wasserdampf geht nämlich in trock-
ft sehr leicht durch die Blase, während dieselbe für den Weingeist-
f einen fast hermetischen Verschluss bildet. — Allmählige Verunreinigung
sen, welche in Glasgefässen über Quecksilber oder Wasser abgeschlos-
d. — Auch das Entweichen des Wasserstoffs aus den kleinen Luftbal-
n Goldschlägerhaut und Kautschuck gehört zu dieser Klasse von Er-
ungen.

36. Ein poröser Stoff als Scheidewand zweier Gase, welche
t ungefähr gleicher Begierde zu absorbiren vermag, lässt
em leichtesten immer die grösste Menge durch.

es Verhalten hat zuerst Döbereiner beobachtet; er fand nämlich, dass
stoffgas, in einer gesprungenen Glasglocke über Wasser aufbewahrt,
len Sprung fortging, indem das sperrende Wasser im Glase in die Höhe
er Versuch lässt sich bequemer anstellen und das Resultat nach wenigen
i beobachten, wenn man einen Glascylinder am einen Ende mit einem
inen dicken Stöpsel von Gyps oder Thon verschliesst und dann, mit ir-
em Gase gefüllt, über Wasser oder Quecksilber gesperrt an der Luft
ässt. Ist das innere Gas ebenfalls Luft, so bemerkt man keine Verän-
; das innere Niveau über das äussere gehoben, erniedrigt sich, wenn der
gut zubereitet war (Pogg. Ann. 28. 331.) auf eine erst nach mehreren
bemerkliche Weise. Befindet sich in dem Cylinder ein Gas, das leichter
Luft, z. B. Wasserstoffgas, so beginnt die Sperrflüssigkeit sogleich zu
Ist das eingeschlossene Gas schwerer als Luft, z. B. Kohlensäure, so
sert sich der innere Raum; die Sperrflüssigkeit sinkt.

indet sich auf der einen Seite der porösen Scheidewand die
uft, auf der andern Seite ein begränzter Raum, der mit Was-
fgass oder Sauerstoffgas oder kohlensaurem Gas oder einem
gen anderen Gase gefüllt ist, und wird der Druck auf beiden
stets gleich erhalten, so findet von diesen verschiedenen

Gasen gegen die atmosphärische Luft ein Austausch in der Weise statt, dass die für je 1 Volum eingedrungener Luft ausgetretenen Gasmengen sich verhalten wie die Quadratwurzeln aus den specifischen Elasticitäten der verschiedenen gasförmigen Körper.

Z. B. Für 100 C. C. Luft, die durch einen Gypsstöpsel in einen getheilten Glascylinder, der Wasserstoff, über Wasser gesperrt, enthielt, eindrangen, waren 383 C. C. dieses Gases entwichen. Enthielt der getheilte Cylinder Sauerstoffgas, so waren davon nur 95 C. C. weggegangen; von kohlensaurem Gas nur 81 C. C. u. s. w. Diese Zahlen verhalten sich aber fast genau wie $1 : \sqrt{\frac{1}{0,0693}} :$ $\sqrt{\frac{1}{1,1026}} : \sqrt{\frac{1}{1,5208}}$ oder wie 1 : 3,81 : 0,95 : 0,81, d. h. umgekehrt wie die Wurzeln aus den specifischen Gewichten der betreffenden Gase (206).

Dieses Erfahrungsgesetz ist von Graham entdeckt worden. Es liefert den experimentellen Beweis, dass die Diffusion oder das Eindringen eines Gases in den Raum eines andern eine Folge ist des ungleichen specifischen Expansionsvermögens verschiedener elastisch flüssiger Körper.

VII. Von den Dämpfen.

237. Dämpfe nennt man diejenigen gasförmigen Körper, welche sich aus tropfbaren Flüssigkeiten durch Erhöhung der Temperatur erzeugen lassen und die durch Abkühlung unter ihre Erzeugungstemperatur wieder in den tropfbar flüssigen Zustand zurücktreten (52).

Dass die Dämpfe ihrem Wesen nach zu den Gasen gehören, d. h. dass ihre Theile vollkommne Beweglichkeit und Spannkraft besitzen, zeigt zunächst der Vorgang, den man Sieden nennt. Die aus einer siedenden Flüssigkeit aufsteigenden Dampfblasen unterscheiden sich in nichts Wesentlichem von Gasblasen; auch müssen sie eine derjenigen der äussern Luft gleiche Spannkraft besitzen, weil sie sich sonst nicht unter dem Drucke der Atmosphäre bilden könnten.

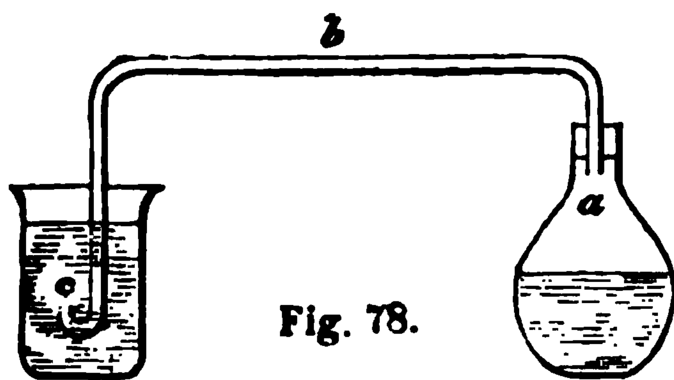


Fig. 78.

Wenn man Wasser in einem Gefässe *a* (Fig. 78) einige Zeit im Zustande des Siedens erhält, so wird nach und nach durch die aufsteigenden Dämpfe alle Luft aus dem Gefässe verdrängt. Leitet man hierauf die unter fortdauernder Einwirkung der Wärme entwickelten Dämpfe mittelst des Gasentbindungsrohrs *a b c* in kaltes Wasser, so werden die bei *c* austretenden Gasblasen, so wie sie mit der kältern Flüssigkeit in Berührung kommen, augenblicklich wieder in tropfbar flüssiges Wasser verwandelt. Diess geschieht, so lange die Temperatur im Gefässe *c* im Geringsten unter dem Siedpuncte steht. Hat aber endlich die Flüssigkeit die Temperatur des Siedpunctes angenommen (85), so steigen die entbundenen Wasserdämpfe unverdichtet auf. Lässt man nach der Hand das Gefäss *a* unter den Siedpunct erkalten, so können die Dämpfe, welche es ausfüllen, dem Luftdrucke nicht länger widerstehen; die Flüssigkeit aus der Vorlage *c* wird durch das Entbindungsrohr in das Siedegefäss gepresst.

238. Die Siedpuncte tropfbarer Flüssigkeiten, oder diejenigen Temperaturgrade, wobei die Dampfbildung unterhalb der flüssi-

fläche an den erhitzten Gefässwänden vor sich geht, haben früher (53 und Tafel VIII) als feste Temperaturen kennen ge- . Diess gilt jedoch nur, so lange der Siedeprocess unter einem benen und unveränderlichen Luftdrucke vor sich geht. Wird Flüssigkeit unter einem grösseren als dem gewöhnlichen Atphärendrucke erhitzt, so bedarf es einer höheren Temperatur, ie zum Sieden zu bringen; bei abnehmendem Drucke sinkt emperatur des Siedpunctes.

n findet z. B., dass der Siedpunct des Wassers sich mit dem Barometerverändert. Bei 324,8''' Barometerhöhe siedet es schon bei 99°, bei 349''' des Barometerstandes erst bei 101°. (Siehe Taf. XIV.) An der Meeresin den Thälern bemerkt man stets einen höheren Siedpunct, als auf den der Berge. Auf dem Montblanc, bei einem Barometerstande von 43,5 Cenr brachte Saussüre das Wasser schon bei 85° C. zum Sieden. — Sieden drigen Temperaturen unter der Luftpumpe. Pulshammer. — Füllt man Kolben von starkem Glase zum dritten Theile mit Wasser, bringt man über der Spirituslampe zum Sieden, und erhält es einige Zeit in diesem ide, bis die Luft grösstentheils ausgetrieben ist, entfernt man dann das vom Feuer und verschliesst es mit einem gut anschliessenden Korkl, so dauert der Siedeprocess noch einige Zeit fort, und kann befördert n, wenn man den Hals des Gefässes abkühlt und dadurch eine fortwähVerdichtung der aufsteigenden Dämpfe an der kalten Glaswand bewirkt. iesem Grunde bemerkt man, wenn das ganze Gefäss unter kaltes Wasser cht wird, im Anfange ein sehr vermehrtes Aufkochen.

Dämpfe in luftleeren Räumen.

139. Das Wasser und andere tropfbare Flüssigkeiten besitzen bei sehr verschiedenen Temperaturen die Fähigkeit, in den pfförmigen Zustand überzugehen (Expansivvermögen). Aeusr Druck, z. B. der der atmosphärischen Luft, ist ein Hinderniss s Ueberganges; eine Flüssigkeit siedet, wenn ihre Dämpfe r dem Einflusse der Wärme die erforderliche Spannkraft gen können, um dem Gegendruck von Aussen das Gleichgeit zu halten. In leeren Räumen bilden sich Dämpfe bei jeder peratur, wobei eine Flüssigkeit überhaupt noch verdampfungsg ist. Die Dampferzeugung in leeren Räumen findet aber vorsweise an der flüssigen Oberfläche statt und ist gewöhnlich t von dem den Siedeprocess bezeichnenden Aufwallen beit.

140. Lässt man in die leere Kammer des Barometers bei gelicher Temperatur eine kleine Menge Wasser (mittelst einer 79. gekrümmten Glasröhre (Fig. 79), deren zu einer feinen Spitze ausgezogenes Ende unter das Barometerrohr gebracht wird) eintreten, so wird die Quecksilbersäule durch die gebildeten Dämpfe um einige Linien niedergedrückt, gerade so, als ob eine Luftblase eingedrungen wäre. Die flüssige Säule nimmt indessen sogleich wieder eine feste Stellung ein, bei der sie sich behauptet, so lange die Tem-



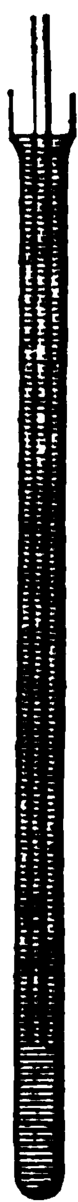
peratur unverändert bleibt. Der Unterschied des früh diesen veränderten Stand des Quecksilbers gibt die Spa bei der herrschenden Temperatur entwickelten und den o des Barometerrohrs ausfüllenden Wasserdampfs (198).

Verschiedene Flüssigkeiten, welche man auf ähnli jede in die leere Kammer eines andern Barometers e wirken bei gleicher Temperatur einen sehr ungleichen N der Quecksilbersäule, d. h. sie erzeugen Dämpfe von ner Spannkraft.

Z. B. bei 15° Temperatur sinkt die Barometersäule durch de Wasserdampfes um 5,96 Par. Lin., durch den Druck des Weingeis 11,29 Lin., durch den des Aetherdampfes um 134,16 Lin.

241. Wenn in dem leeren Raume, worin die Dampfl sich geht, Wasser im Ueberschusse vorhanden ist, so Dämpfe eine gewisse Spannkraft an, welche, so lange ratur sich nicht ändert, ebenfalls unveränderlich ist. man den Raum, so bilden sich neue Dämpfe, aber ohn der Spannkraft. Vermindert man den Raum, oder setzt n bildeten Dämpfe einem grösseren Drucke aus, so kehren tropfbar flüssigen Zustand zurück.

Fig. 80.



Diess lehrt der folgende leicht anzustellende Versuch: stens 30 — 40 Zoll langes und etwa 4 Linien weites offenes Glasrohr werde in einen Quecksilber-Behälter von entsprec (Fig. 80) bis fast an den oberen Rand eingesenkt, der ob den das Quecksilber nicht eindringen konnte, mit Aether g und die Oeffnung luftdicht geschlossen. Wird dieses Rohr hälter langsam hervorgezogen, so geht das eingeschlossene nur so lange mit in die Höhe, bis der Druck der gehobenen mehrt um die Spannkraft des Aetherdampfes, dem Druck sphärischen Luft das Gleichgewicht halten kann. Z. B. be schenden Temperatur von 15° und einem Barometerstan würde die gehobene Quecksilbersäule 336 — 134,16 = 20 gen. So wie diese Grenze erreicht ist, bleibt der Unterschie und unteren Quecksilberspiegels unverändert, so weit au noch hervorgezogen werden mag, vorausgesetzt nur, dass ratur sich nicht ändert, und dass stets etwas flüssiger Aeth schusse bleibt. Durch Erweiterung des Raumes über dem kann also nur die Menge des Dampfes vermehrt, aber Dic Spannkraft desselben kann nicht geändert worden seyn. das Rohr niedergehen, so vermindert sich der Raum über silber und endlich wird aller Aetherdampf wieder zu flüssigen dichtet, bevor der Stand des Quecksilbers sich merklich e

242. Von Dämpfen, welche die grösste Span sitzen, welche sie bei der bestehenden Temper haupt annehmen können, sagt man: sie befind Maximum der Spannkraft oder der Dichtig auch wohl, es sind gesättigte Dämpfe; w Raume, welchen sie ausfüllen, ohne Erhöhung d ratur sich keine neuen Mengen desselben Dampfes können, dagegen die geringste Verkleinerung dieses R die geringste Abnahme der Temperatur sogleich eine

:htung (Verwandlung in den tropfbar flüssigen Zustand) der ndenen Dampfmenge zur Folge hat.

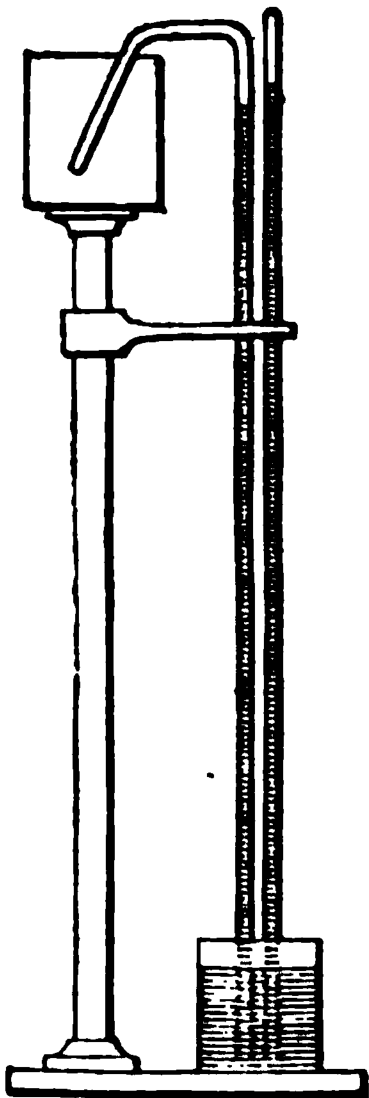
:3. Die Spannungs-Maxima, oder grössten Spannkräfte aller fe wachsen mit ihrer Erzeugungstemperatur, jedoch in einem ich grösseren Verhältnisse als diese letztere. Es ist bis jetzt gelungen, den Zusammenhang zwischen Temperatur und nkraft auf einfache, aus den Eigenschaften der Dämpfe selbst leitete Gesetze zurückzuführen.

ı die Spannkraft der Dämpfe bei verschiedenen Temperaturen zu messen, ı sich mehrere Verfahrungsweisen in Anwendung bringen, welche im Wechen auf die folgenden Principien zurückkommen: 1) Man beobachtet die uncte der Flüssigkeit unter verändertem äusseren Drucke. Dieser Druck, em Barometer, oder, wenn der Verdampfungsprocess unter der Luftpumpe ünstlich verringerter Luftspannung vorgenommen wird, mit dem Manor (dem verkürzten Barometer) gemessen, gibt die Spannkraft des Dampfes ler beobachteten Siedetemperatur. 2) Man lässt die Flüssigkeit in die leere mer eines Barometers eintreten und bestimmt den Niederdruck der Queckersäule durch die bei verschiedenen Temperaturen gebildeten Dämpfe. Dieses fahren ist zuerst von Watt angewendet worden. Es eignet sich, gleichwie das hergehende, nur so lange die Spannkraft der Dämpfe weniger als ein Atmoärendruck beträgt. 3) Die zu verdampfende Flüssigkeit befindet sich in einem

;.81. Gefässe, welches, nachdem alle Luft sorgfältig daraus entfernt worden, luftdicht abgeschlossen ist, so dass auf die Oberfläche der Flüssigkeit nur noch die Spannkraft ihrer eignen Dämpfe wirksam bleibt. Der untere Theil des Gefässes communicirt mit einem senkrecht stehenden luftleeren Glasrohr, worin durch den Druck des gebildeten Dampfes eine Quecksilbersäule gehoben wird. Die senkrechte Höhe dieser Säule zeigt unmittelbar die Grösse der Spannkraft des Dampfes. G. G. Schmidt hat dieses Princip zuerst in Anwendung gebracht. Sein Apparat bestand aus einer Art Kugelbarometer (Fig. 81); in den kugelförmigen offenen Behälter desselben wurde die Flüssigkeit eingegossen, erhitzt und so lange kochend erhalten, bis alle Luft aus dem inneren Raume entfernt war; die zu einer feinen Spitze ausgezogene Oeffnung wurde hierauf zugeschmolzen, und der Apparat nach und nach verschiedenen Temperaturen ausgesetzt. Wenn das Glasrohr, worin das Quecksilber steigt, hoch genug ist, so kann auf diese Weise die Spannkraft eines Dampfes auch bei höheren Temperaturen, als der des gewöhnlichen Siedpunctes, gemessen werden. Auch kann man zur Bestimmung dieser höheren Spannungen ein Rohr nehmen, das oben offen ist. In diesem Falle ist zu der Steighöhe des Quecksilbers noch der Druck der Atmosphäre hinzuzufügen. — Befindet sich über dem Quecksilber Luft, welche oben durch das verschlossene Ende des Rohrs, unten durch das flüssige Metall abgesperrt ist, so wird diese durch die steigende Quecksilbersäule comprimirt. War nun ihre Spannkraft vor dem Beginne des Versuches bekannt, so lässt sich aus dem Grade der eingetretenen Verdichtung der Dampfdruck mit derselben Sicherheit, wie aus der senkrechten Erhebung einer Quecksilbersäule ableiten. Vermittelst eines auf dieses Princip gegründeten Apparates und bei Berücksichtigung aller derjenigen Hülfsmittel, welche die neuere Physik an die Hand gibt, so wie derjenigen Vorsichtsmaassregeln, welche Umsicht und vorgeschrittene isse anriethen, haben Dülong und Arago im Jahre 1828 die Spannes Wasserdampfs zwischen 100° bis 224° gemessen. (Pogg. Ann. B. 18,) 4) Man kann die Spannkraft des Dampfes auch dadurch bestimmen, m dieselbe gegen ein Kugelventil wirken lässt, durch welches eine Oeffı Siedegefäss von bekanntem Umfange verschlossen ist. Dieses Ventil

kann durch aufgelegte Gewichte beliebig belastet und folglich durch des Dampfes nicht eher aufgestossen werden, als bis derselbe bei all nehmender Temperatur eine dem Gegendruck der Gewichte ganz gl gewonnen hat. Das zu dergleichen Versuchen zu benutzende Siedeg am besten aus getriebenem Kupfer angefertigt (Papin'scher To nysius Papin hat mittelst eines solchen Apparates zuerst experime gewiesen (im Jahre 1690), dass das Wasser durch Erhöhung der T eine derjenigen der Luft ähnliche Elasticität annimmt, die sich aber kühlung wieder verliert. (Recueil de diverses Pièces, touchant que velles Machines etc. par *M. D. Papin*, Dr. en Medicine, Professeur matique dans l'université de Marburg. Cassel, 1695.) Im Jahre Arzberger einen ähnlichen Apparat zu einer in der damaligen Ze schätzten Arbeit über die Spannkraft hochgespannter Dämpfe benu bücher des polytechnischen Instituts in Wien, B. 1, S. 144.)

Fig. 82.



244. Bei weitem die grösste Zahl bekannter Untersuchungen über die S gesättigter Dämpfe beziehen sich auf d serdampf, dessen Spannkraft zwisch bis 224° so ziemlich genau bekannt XV). Dass das Wasser auch bei Tem unter dem Gefrierpuncte, d. h. im Zus Eis, Dämpfe bildet, hat Gay-Lüssac bewiesen, dass er eine kleine Meng die er in das obere umgebogene Ende rometers (Fig. 82) hatte eintreten la einer Kältemischung umgab. Die F erstarrte, aber gleichwohl blieb der Sp Quecksilbers unter dem eines neben s Barometers, dessen leere Kammer kei enthielt. Zwar befand sich stets ein Raums über dem Quecksilber in einer w Umgebung, nämlich der der äusseren L konnte jedoch auf die Grösse der g Spannkraft keinen Einfluss haben, w Herstellung des Gleichgewichtszust oberen Raume überall eine gleiche Spannkraft, folglich die j unmittelbar aus dem Eise erzeugten Dampfes herrschen m

Die Tafel XV, welche eine Uebersicht der Spannkräfte gesättig bei verschiedenen Temperaturen gibt, ist rein empirisch entworfe hat lediglich auf den Grund einiger durch Versuche bestimmter W die fehlenden Zwischenglieder durch Probiren eingeschaltet oder Die hierzu nöthigen Rechnungsformen nennt man Interpolationsform gleichsam künstliche Annäherungen zu dem bis jetzt unbekannten G nach die Spannkraft eines Dampfes aus der Temperatur desselben müsste bestimmt werden können. Da nun diesen Formeln keine ha retische Vorstellung zu Grunde liegt, so haben sie auch nur Geltun der Gränze der Thatsachen, auf welche sie sich stützen. Unter den Interpolationsformeln, die man zur Berechnung der grössten Span Wasserdampfes aufgestellt hat, schliessen sich die folgenden den b Erfahrungsresultaten am genauesten an.

α) Egens Formel (Pogg. Ann. B. XXVII, S. 9) gewährt eine zi Uebereinstimmung sowohl mit den bei niederen, wie mit de

Temperaturen gemessenen Spannkräften. $t^0 = 100^0 + 64{,}29512 \log. e + 13{,}89479 (\log. e)^2 + 2{,}909769 (\log. e)^3 + 0{,}1742634 \log. e)^4$. t^0 bedeutet der Grade Cels., e die Spannkraft in Atmosphären ausgedrückt.

August's Formel (Pogg. Ann. B. XIII, S. 122) stimmt am besten für niedrige Spannkräfte.

$$\log. e''' = \frac{23{,}945371 \, . \, t^0}{800 + 3\, t^0} + 0{,}3506555$$

t^0 bedeutet Grade Cels; e''' gibt die gesuchte Spannkraft in Par. Lin.

Biot's Formel (traité de Physique I, S. 277) für Spannkräfte über 20° und unter 100°

$$\log F = 1{,}8808201 + A\,N + B\,N^2 + C\,N^3$$

Die Spannkraft F wird in Centimetern gefunden. N bedeutet Grade Celsius, wenn man, von 100° als Nullpunct ausgehend, die fallenden Grade positiv, die steigenden negativ zählt.

Es ist $A = -0{,}01537278757$ $\log. A = 0{,}1867526 - 2$
$B = -0{,}00006731995$ $\log. B = 0{,}8281441 - 5$
$C = +0{,}00000003374$ $\log. C = 0{,}5281451 - 8$

Von Mallet verbesserte Tredgold'sche Formel, für Spannkräfte von 1—4 Atmosphären.

$$100\, e = \left(\frac{t + 75}{85}\right)^6; \quad t + 75 = 85 \sqrt[6]{100\, e}$$

e bedeutet Meter, t Grade Cels.

Dülong's Formel für Spannkräfte über 4 Atmosphären. e bedeutet hier Atmosphären, t Grade Cels.

$$e = (1 + 0{,}007153\,[t - 100])^5; \; t - 100 = \frac{\sqrt[5]{e} - 1}{0{,}007153}$$

Mit Dülong's und Arago's Versuchen etwas genauer übereinstimmend ist endlich die folgende von Spasky (Pogg. Ann. B. XXX, S. 331) veränderte Formel

$$e = (1 + 0{,}00719\,[t - 100])^{4{,}9987}$$

Eine vollständige Zusammenstellung aller die Spannkraft des Wasserdampfes betreffenden Formeln findet man in Dove's Repertorium der Physik. S. 48, wo jedoch die Formeln β, γ, δ und ε unrichtig eingezeichnet sind.

Aufgabe: Wie verfährt man, um den Druck des Dampfes in Gewichten auszudrücken, wenn derselbe in Atmosphären gegeben ist (196).

Verschiedene Flüssigkeiten bilden, jede bei ihrem Siedpuncte genommen, ...tigte Dämpfe von gleicher Spannkraft. So zeigt z. B. Aetherdampf von ...° oder Alkoholdampf von 78,4° dieselbe Tension wie Wasserdampf von ... Nach einem von Dalton aufgestellten Gesetze hat man früher geglaubt, die Spannungsmaxima der verschiedenartigsten Dämpfe, von den Siede... ihrer Flüssigkeiten ausgehend, für gleiche Zu- oder Abnahme der Temperatur ebenfalls gleich seyen; dass z. B. die Spannkraft des Alkoholdampfes ...,4°—20° dieselbe sey, wie die des Wasserdampfes bei 100°—20°. Dieses ...z hat sich jedoch nicht allgemein als richtig bewährt, wenn schon es in ...n Fällen, z. B. bei dem Alkohol und Schwefeläther, der Wahrheit ziemlich nahe kommt, und zu vorläufigen approximativen Bestimmungen wohl beachtet werden kann.

45. Dämpfe, welche von den Flüssigkeiten, woraus sie sich ...en, getrennt und dann über ihre Erzeugungstemperatur er...t werden, oder welche man, ohne ihre Temperatur zu än... und ohne dass neue Dämpfe hinzukommen können, in einen ...n von grösserem Umfange versetzt, folgen dem mariottischen ...ze so wie dem für die permanenten gasförmigen Körper gel-

tenden Ausdehnungsgesetze. Der Zustand eines ungesät (oder überhitzten) Dampfes ist also innerhalb gewisser Gr ein bleibend gasförmiger Zustand.

Beispiel: In das cylindrische Rohr des Nr. 241 beschriebenen Ap werde eine so geringe Menge Schwefeläther gebracht, dass dieselbe, w das Rohr hervorgehoben wird, bald vollständig verdampft, mithin dur gesetzte Vergrösserung des Raums über dem Quecksilber, zwar der vorl Dampf sich ausdehnen (expandiren), aber keine neue Dampfmenge hin men kann; so bleibt die gehobene Quecksilbersäule nicht auf der dem M der Spannkraft entsprechenden Höhe stehen. Angenommen, bei gleichbl Temperatur von 15° betrage die gehobene Quecksilbersäule bereits 204 lich der Druck des Dampfes 336 — 204 = 132''' und jede Spur tropfbar sigkeit sey verschwunden. Man fahre fort, das Rohr aus dem Queck hälter emporzuziehen, bis das Volum des Dampfes sich verdoppelt hat; der Quecksilbersäule wird jetzt 270''', daher die Spannkraft des Damp über nur 336 — 270 = 66''' oder $\frac{132}{2}$ Linien betragen. Ebenso wird ma dass der Dampf bei dreimal grösserem Volumen nur noch $\frac{1}{3}$ derjenigen kraft, von der man ausgegangen war, beibehalten konnte.

Fig. 83.

Anderes Beispiel: Ein Glasrohr, am einen Ende offen, an zugeschmolzen und wie in Fig. 83 umgebogen, werde mit Qu gefüllt. Dann lasse man etwas Aether in den kurzen Sche langen und giesse das flüssige Metall, so weit es den langen S ausfüllt, wieder aus, was bei der besonderen Gestalt des R schehen kann, ohne ein Zurückfliessen des Aethers befür müssen. Taucht man den so hergerichteten Apparat in warm ser von etwas höherer Temperatur, als der Siedpunct des z. B. von 40°, so bilden sich Aetherdämpfe, welche bald de Schenkel des Rohrs ganz ausfüllen und den noch flüssigen Aethers nöthigen, in den langen Schenkel und über das Qu zu treten. Die auf diese Weise von ihrer Erzeugungsflüssig trennten und bis zu 40° erwärmten Dämpfe besitzen nicht Maximum ihrer Spannkraft, wenn der Quecksilberspiegel Schenkeln wenig oder gar nicht verschieden ist. Durch Er des umgebenden Wassers auf 60°, 80°, 100° vergrössern Umfang. Verhindert man aber ihre Ausdehnung durch Zusc Quecksilber in den langen Schenkel des Rohrs, so ergibt sic Höhe der hierzu nöthigen Quecksilbersäule, dass die Spann ungesättigten Aetherdampfs bei gleichbleibendem Volum, a gender Temperatur, ganz so, wie die eines permanenten G nimmt. Hieraus folgt nun, dass auch das Ausdehnungsg Dämpfe mit dem der permanenten Gase übereinstimmen mu — Wird der im kurzen Schenkel eingeschlossene und z. B erhitzte Dampf ohne weitere Aenderung seiner Temperatur mirt, indem man fortfährt, Quecksilber im langen Schenk setzen, so findet man, dass die Volums - Verminderung dem schen Gesetze entspricht.

246. Durch Abkühlung und Druck können ungesättigte in den Zustand gesättigter Dämpfe zurückgeführt werde Wasserdampf von 120,°7, der eine Spannkraft von nur sphärendruck besitzt und folglich (siehe Taf. XV) das M seiner Dichtigkeit bei dieser Temperatur noch nicht errei verwandelt sich in einen gesättigten Dampf, wenn er bis abgekühlt, oder ohne Aenderung der Temperatur, einem d

te ausgesetzt und dadurch auf die Hälfte seines anfänglichen
ns verdichtet wird. Wäre die anfängliche Temperatur des un-
m Drucke der Atmosphäre befindlichen Dampfes 134,°2 ge-
n. so würde er erst durch Verdichtung auf ein Drittheil des
glichen Volums seine grösste Spannkraft annehmen. Man
hieraus, dass die mit der Temperatur wachsende Maximums-
kraft eine unmittelbare Folge davon ist, dass diejenige Dich-
, wobei ein Dampf noch fähig ist, sich in der Gasform zu
en, mit der Temperatur zunimmt.

 vorzugsweise sogenannten permanenten Gase behaupten
lls nur innerhalb gewisser Gränzen den Gaszustand (199)
erhalten sich also ganz wie ungesättigte Dämpfe. So ge-
z. B. schwefligsaures Gas, unter 1 Atmosphärendruck bei
, unter 3 Atmosphärendruck schon bei + 12,°5 auf die Gränze
gasförmigen Zustandes. Kohlensaures Gas muss bis zu
abgekühlt werden, um unter dem gewöhnlichen Atmosphären-
eine Maximums-Spannkraft annehmen zu können.

Dämpfe gemengt mit Gasen; Verdunstung.

7. Die Dämpfe besitzen die Eigenschaft, sich im Raume per-
nter Gase in ähnlicher Weise auszubreiten wie permanente
unter einander. Lässt man z. B. Wasser-, Alkohol- oder
r-Dampf in die Luft ausströmen, so vertheilt er sich, gleich
ausströmenden Gase, mit grosser Schnelligkeit und nach
Richtungen. Die atmosphärische Luft enthält, wie man weiss,
ler Zeit und bei jeder Temperatur Wasserdämpfe in grosser
e.

8. Wasser oder jede andere Flüssigkeit, die fähig ist, Dämpfe
den, der freien Luft ausgesetzt, verliert allmählig von ihrem
hte. Bringt man eine mit Wasser gefüllte Schale unter eine
locke, die Luft oder irgend ein anderes Gas enthält, und stellt
eben diese Schale ein Gefäss mit concentrirter Schwefel-
welche bekanntlich die Eigenschaft besitzt, die Wasser-
e aus der Luft anzuziehen und sich dadurch zu verdünnen;
d man nach einiger Zeit finden, dass die Säure Wasser auf-
men und dass dabei ihr Gewicht um eben so viel sich ver-
rt hat, als das des Wassers in der Schale sich verminderte.
issigkeiten bei Temperaturen, wobei sie Dämpfe zu erzeu-
rmögen, der Luft ausgesetzt, verhalten sich also, wie wenn
ien gasförmigen Körper, nämlich ihren eignen Dampf, durch
tion verdichtet, enthielten.

se Eigenschaft tropfbarer Flüssigkeiten, im Raume der Luft
anderer Gase ganz unabhängig vom äusseren Drucke und
ohne die Mitwirkung künstlicher Erwärmung zu verdampfen,

wird **Verdunstung** genannt. Die Ursache der Verdunstun Wesentlichen dieselbe wie die der Diffusion permanenter

249. Wenn eine Flüssigkeit in einem Gasraume von be Grösse im Ueberschusse vorhanden ist, so verdunstet ei eben so grosser Theil derselben, als bei derselben Temp demselben Raume, luftleer gedacht, in die Dampfform hät gehen müssen; und der so gebildete Dampf, für sich be besitzt eine genau eben so grosse Spannkraft, als er bei d Temperatur im leeren Raume annehmen würde. Die Sp eines Gemenges von Gas und Dampf ist folglich gleich de der Pressungen, welche das Gas, wenn es bei unver Raume allein vorhanden wäre, und der Dampf, wenn er al handen wäre, ausüben würden.

Fig. 84.



In einem doppelschenklichen Glasrohr, wie Fig. 84 geb sen kurzer Schenkel in gleiche Unterabtheilungen gebrac *a* geschlossen ist, werde ein beliebiges Volum *a b* trockne telst Quecksilbers abgesperrt. Man messe die Spannkraft geschlossenen Luft, giesse sodann Quecksilber in den offe kel, bis er fast angefüllt ist, fülle ihn gänzlich mit Aether mit dem Finger und lasse durch passende Neigung des Aether in den Raum *a b* so eintreten, dass von der abgesp nichts entweichen kann. Lässt man endlich von dem eing Quecksilber wieder so viel abfliessen, bis das frühere Luf sich wieder hergestellt hat, so wird man finden, dass sich Spannkraft genau um so viel vermehrt hat, als das Spannung des Aetherdampfs bei der bestehenden Temperatur und im Raume ausmacht. Durch Erhöhung der Temperatur, bei ung äusseren Drucke, würde die eingeschlossene trockne Luft den Raum *a c* einnehmen. Regulirt man die Quecksilb offenen Schenkel, so dass das Volum *a c* sich wirklich he misst dann den Stand des Quecksilbers, so findet man auc inneren Druck gleich demjenigen der Luft für sich, vermeh Spannungsmaximum des Dampfes für die nunmehr veränder ratur. Sucht man die Temperatur des eingeschlossenen Gas beständig zu erhalten, verändert aber die Höhe der Queck im offenen Schenkel, indem man von dem flüssigen Metall oder davon abfliessen lässt, so wird sich stets ergeben, gleichzeitig veränderte innere Gasvolum sich zu dem an Volum *a b* verhält, umgekehrt wie die anfängliche Span eingeschlossenen trocknen Luft zu der zuletzt gemessen kraft, nachdem das Spannungsmaximum des Dampfes da zogen worden. Die Dichtigkeit des mit der Luft gemengte dampfes ändert sich also nicht, so lange die Temperatur beständig blei Veränderungen auch das Volum *a b* erleiden mag. Jede Erweiterung lums hat mithin die Bildung neuer Dämpfe zur Folge, jede Vermind wirkt, dass ein verhältnissmässiger Theil des vorhandenen Dampf tropfbar flüssigen Zustand zurückgeführt wird, ganz so, wie es im lee geschieht. — Mit demselben Erfolge würde man statt des Aethers i andere Flüssigkeit, oder statt der Luft ein anderes permanentes wählen können.

Dämpfe und permanente Gase, vermengt, bestehen also ganz u von einander, gerade so, als wäre jedes in dem gegebenen Raume a handen. Dieses Erfahrungsgesetz, da es für gesättigte Dämpfe wahr um so mehr für ungesättigte Geltung haben; eine Ausnahme erleidet

nt, nur dann, wenn ein gasförmiger Körper mit einem Dampfe eine feste sche Verbindung einzugehen vermag. Z. B. salzsaures Gas, mit Wasser-gemengt, verdichtet sich damit zu flüssiger Salzsäure.

üher glaubte man, verdunstende Flüssigkeiten lösten sich in der Luft auf, ı wie Salze im Wasser, und hielt demnach die Verdunstung für eine che-Aktion. Der Ausdruck: mit Dampf gesättigte Luft rührt aus jener :r. Diese Ansicht musste aufgegeben werden, nachdem Delüc gezeigt lass die Spannkraft der Dämpfe in leeren, gleich wie in von Gas erfüllten n nur von der Temperatur abhängt, und nachdem man durch das von n entdeckte Gesetz des Verhaltens gasförmiger Körper gegen einander ılüssel zu einer ungleich befriedigenderen Erklärung der Verdunstungs-mene gefunden hatte.

0. Wenn schon die Dampfbildung in der Luft nach demselben ze vor sich geht, wie im leeren Raume, und zuletzt auch im-u demselben Resultate führen muss, so findet doch hinsicht-er Zeit eine grosse Verschiedenheit statt.

ı luftleeren Raume erheben sich die Dämpfe von jedem Puncte issigen Oberfläche mit einer von ihrem eigenthümlichen Ex-r-Vermögen allein abhängigen Geschwindigkeit. Wasser-f z. B. entwickelt sich, je nach der Temperaturhöhe, mit einer ıwindigkeit von 1600—1800 Fuss in der Sekunde und er-t daher in einem geschlossenen, luftleeren Gefässe fast nblicklich das Maximum seiner Dichtigkeit. Die Luft widersetzt dieser schnellen Ausbreitung des Dampfes, mehr oder weniger ich dem Grade ihrer Dichtigkeit. Die Verdunstung geht daher illend langsamer vor sich als die Dampfbildung im leeren ne.

Fig. 85.



Man verschaffe sich zwei, wie Fig. 85 gebogene, 6 bis 8 Linien weite und an beiden Enden zugeschmolzene Glasröhren, von welchen die eine luftleer, die andere mit Luft gefüllt ist, und die beide ungefähr gleiche Mengen Wasser oder Alkohol enthalten. Diejenigen Arme beider Röhren, worin sich die Flüssigkeit befindet, stelle man neben ein-

h warmes Wasser, während der übrige Theil dem abkühlenden Einflusse ift ausgesetzt bleibt. In dem luftleeren Rohr wird die Flüssigkeit in un-kürzerer Zeit, als in dem lufthaltigen, überdestilliren.

51. Im Allgemeinen verdunsten die Flüssigkeiten um so ıer, je grösser die Spannkraft ihrer gesättigten Dämpfe bei errschenden Temperatur. — Aether, Alkohol, Wasser-Wärme dert die Verdunstung, weil sie die Expansivkraft der Dämpfe ehrt.

ıs Bestreben einer Flüssigkeit, zu verdunsten, nimmt ab, je der umgebende Raum bereits mit ihren Dämpfen gesättigt ıd hört ganz auf, sobald die gebildeten Dämpfe ihre grösste gkeit erreicht haben. Durch Erwärmung wird daher die Ver-ıng nicht nur beschleunigt, sondern auch der Effect derselben össert.

e Gewässer auf der Oberfläche unserer Erde, feuchter Boden lle nassen Körper verdunsten bei jeder Temperatur. Sogar is verdunstet, denn in trockner, wenn auch noch so kalter

Luft verliert es allmählig von seinem Gewichte. Trockner Wind beschleunigt die Verdunstung, indem er durch fortdauernden Wechsel des mit der verdunstenden Flüssigkeit in Berührung stehenden Luftraums den Eintritt des Sättigungspunctes hindert. Aber auch bei ruhiger Luft wird die Verdunstung selten ganz unterbrochen, weil die Dämpfe das specifische Gewicht der Lufttheile, womit sie sich mengen, vermindern und dadurch ein allmähliges Erheben derselben bewirken.

Austrocknen feuchter Körper durch Aussetzen an die Luft. Salzgradirwerke müssen eine Lage erhalten, in welcher sie dem Zudrange trockner Winde möglichst ausgesetzt sind. — Im Inneren benetzte Gefässe, Glasröhren, lassen sich durch Wärme allein, zumal wenn sie enge Ausmündungen haben, nicht trocknen; wenn man aber die innere Luft wiederholt mit trockner vertauscht und gleichzeitig erwärmt, so wird bald jede Spur von Feuchtigkeit entfernt. In ganz offenen Gefässen, in welchen der Wechsel der Luft durch nichts gehindert ist, bilden sich aus dem Wasser und selbst aus Flüssigkeiten von geringerer Flüchtigkeit, z. B. aus Salpetersäure von 1,42 specifisches Gewicht, die erst bei 120° siedet, aus dem erst bei 156° siedenden Terpentinöl u. s. w. bei Temperaturen weit unter dem Siedpuncte Dämpfe in reichlicher Menge, während die Verdunstung in, wenn auch nur lose bedeckten Gefässen fast ganz unterbrochen wird. — Aus demselben Grunde lässt sich kohlensaurer Kalk in bedeckten Gefässen, selbst bei der heftigsten Glühhitze nicht kaustisch machen; wird aber die Kohlensäure, wie sie sich entbindet, sogleich durch einen Gasstrom fortgeführt, z. B. durch Erhitzen im offnen Feuer, so kann sie ohne Schwierigkeit vollständig ausgetrieben werden.

Specifisches Gewicht der Dämpfe.

252. Der Rauminhalt der Dämpfe steht zu dem der Flüssigkeiten, woraus sie sich bildeten, in keinem, durch ein bis jetzt bekanntes Gesetz ausdrückbaren Zusammenhange. Doch bemerkt man leicht, dass die Dämpfe, verglichen mit ihren Erzeugungs-Flüssigkeiten, stets einen sehr grossen Umfang einnehmen. So erhält man unter dem gewöhnlichen Luftdrucke und bei 100° aus 1 K. Z. Wasser 1700 K. Z. Wasserdampf; aus 1 K. Z. Alkohol 658,5 K. Z. Alkoholdampf; aus 1 K. Z. Aether 408 K. Z. Aetherdampf. Die Dichtigkeit der Dämpfe ist also wie die der permanenten Gase, unter gewöhnlichen Verhältnissen sehr gering.

Das Verhältniss des Rauminhaltes eines Dampfes zu seinem Gewichte und daraus sein specifisches Gewicht kann ausgemittelt werden, entweder indem man eine abgewogene Menge Flüssigkeit sich in Dampf verwandeln lässt, und bei einer bestimmten Temperatur und unter bestimmtem Drucke das Volum desselben misst, oder indem man den Dampf selbst wiegt, welcher ein Gefäss (z. B. eine Glaskugel) von bekanntem Inhalte, bei einer bestimmten Temperatur und unter bestimmtem Drucke ausfüllt.

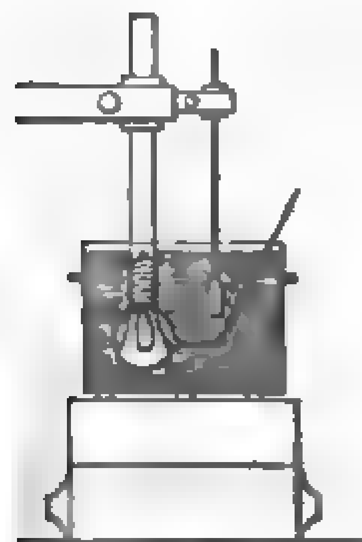
Nach der ersten Methode hat zuerst Gay-Lüssac die Dichtigkeit der Dämpfe des Wassers, Alkohols, Aethers und Schwefelkohlenstoffs bestimmt, indem er kleine, vor der Lampe angefertigte Blasen von sehr dünnem Glase mit der zu prüfenden Flüssigkeit anfüllte, und auf diese Weise im Stande war, d

Menge der letzteren in dem inneren Raume eines mit Quecksilber theilten Glascylinders aufsteigen zu lassen. Wurde dieser hierauf Wasser umgeben, so erwärmte sich die in den kleinen Glasblasen ene Flüssigkeit, zersprengte die dünne Hülle und verwandelte sich dem das Quecksilber herabgedrückt wurde. Der Raum des gebil- 'es führte unmittelbar zu dem gesuchten Verhältnisse. Eine aus- schreibung dieses Verfahrens, das sich jedoch nur auf leicht ver- lüssigkeiten anwenden liess, findet man in Biot's traité de phy-

e Methode gestattet, bei etwas geringerer Genauigkeit, eine weit Anwendung. Sie ist zuerst von G. G. Schmidt, später in sehr ver- er Weise von Dumas in Ausführung gebracht worden, und bildet ein werthvolles Hülfsmittel des Chemikers, um die durch che- yse gefundene Zusammensetzung mancher Stoffe, insbesondere ganischer Verbindungen, einer scharfen Controle zu unterwerfen.

olben von 300—500 C. C. Inhalt wird mit Beihülfe der Luftpumpe lorcalcium enthaltenden Vorlage mit trockner Luft gefüllt, hierauf nahe wie möglich am Bauche des Kolbens zu einer 6—8 Zoll lan- gen engen Röhre ausgezogen und diese wie in Fig. 86 gebogen. Das Gewicht des so hergerichteten Gefässes, mittelst einer feinen chemischen Wage bestimmt, sey P, bei einem Barometerstande von b''' und der Temperatur t^0. Man lasse einen Ueberschuss der zu verdampfenden Flüssigkeit (höchstens 10 Grm.) eintreten, indem man durch mässiges Erwärmen des Glases einen Theil der innern Luft austreibt, dann die Spitze des ausgezogenen Halses in die eintaucht, worauf diese beim Erkalten eingesogen wird. Um die zu bewerkstelligen, setzt man den Glaskolben einer erhöhten, ichförmig einwirkenden Temperatur aus, die nach und nach bis 0° über den Siedpunct der Flüssigkeit gesteigert werden muss. erzu am besten ein Bad, nach Erforderniss von Wasser, Chlor- , Chlorzinklösung, concentrirter Schwefelsäure, leicht schmelzbarer Metall-Legirung u. s. w., worin der Kolben etwa so, wie Fig. 87 zeigt, festgehalten wird. Die im Ueberschusse gebildeten Dämpfe entweichen mit Geräusch durch die enge Oeffnung des aus dem Bade hervorragenden Halses und reissen die Luft grösstentheils mit fort. Wenn keine Dämpfe mehr ausströmen, also die innere Spannung sich mit der äusseren in's Gleichgewicht gesetzt hat, was man am sichersten daraus erkennt, dass der Feuchtigkeitsniederschlag an der engen Ausmündung des Kolbens sich nicht mehr vermehrt; wenn dann durch Annähern einer glühenden Kohle alle noch anhängende Flüssigkeit vollständig entfernt ist, wird die feine Spitze mittelst des Löthrohrs zugeschmolzen. Zugleich merkt man den Barometerstand (B) und die Temperatur des Bades uch als die des Dampfes angenommen wird. Es muss Sorge ge- , die Temperatur des Bades gegen Ende des Versuchs hin möglichst h zu halten; ein gutes und empfindliches Thermometer ist desswend in die Flüssigkeit eingesenkt. Der Glaskolben wird nun aus ommen, gereinigt, getrocknet, und wenn er erkaltet ist, von Neuem s gefundene Gewicht werde durch Q bezeichnet.

Fig. 87.



Es bleibt noch der Rauminhalt des Kolbens ausfindig zu machen. Zu Ende wird die Spitze desselben unter reinem, möglichst luftfreien Wasser Quecksilber abgebrochen; die Flüssigkeit dringt ein und füllt den innern ganz oder beinahe ganz aus. Zum drittenmal gewogen, findet man R Gr bei einer Temperatur von t'°.

Gewöhnlich zeigt sich ein kleiner Luftrückstand über dem eingedrun Wasser. Um den Umfang desselben zu erhalten, muss der Kolben mit W ganz angefüllt und nochmals gewogen werden. Angenommen, das Re dieser letzten Wägung sey S Grm.

Es kommen also im Ganzen vier Wägungen vor, aus welchen die Dich des Dampfes auf folgende Art abgeleitet werden kann.

Aus dem Unterschiede der dritten und zweiten Wägung erhält man das Gewicht des Wassers:

$$W = R - Q;\ (\alpha)$$

welches an die Stelle der ausgeströmten Luft eingedrungen ist. Mit B sichtigung der Dichtigkeitstabelle des Wassers (Tafeln, S. 15) findet ma aus durch einfache Multiplikation von W mit der der Temperatur des W entsprechenden Zahl in der zweiten Spalte das Volum v der entwic trocknen Luft bei t° und unter b''' Druck.

Es wiegen (204) 1000 C. C. Luft bei t° und b''' Druck $\frac{1,2991\ .\ 273\ .}{(273 + t)\ 33}$ $= \frac{1,0527\ .\ b}{(273 + t)}$ grm.; daher das Gewicht von v C. C. Luft bei t° und b''' Druck

$$l \text{ grm.} = \frac{1,0527\ .\ b\, v}{1000.(273 + t)};\ (\beta).$$

Das Gewicht der trocknen Luft (l), von der ersten Wägung (P) a gen, gibt das Gewicht des leeren Gefässes; und dieser Unterschied (P— der von der zweiten Wägung (Q) abgezogen, führt zu dem Gewic Dampfes:

$$D \text{ grm.} = Q - P + \frac{1,0527\ .\ b\ .\ V}{1000\ (273 + t)};\ (\gamma).$$

Aus dem Unterschiede der vierten und dritten Wägung (S — R) fin das Volum der im Gefässe zurückgebliebenen Luft, bei der Temperatu Wassers. Diese Luftmenge darf nur einen kleinen Bruchtheil des ganzen Raumes ausmachen. Sie hatte sich bei der Erwärmung von t'° zu T° hältnisse von $273 + t'$ zu $273 + T$ ausgedehnt, und um diese Ausde grösse, nämlich um den Werth $\frac{(S - R)\ (T - t')}{273 + t'}$, ist das Volum des kleiner als das der ausgetretenen trocknen Luft. Daher das Volum vo wichtstheilen des Dampfes bei T° und unter B''' Druck:

$$V = v - \frac{(S - R)\ (T - t')}{273 + t'};\ (\delta).$$

Beispiel: Eine experimentelle Untersuchung über die Dichtigkeit dampfes führte zu folgenden Angaben:

Der lufterfüllte Glaskolben wog: P = 106,951 grm. bei 24° und 33

Dasselbe Gefäss, bei 185° und 335,57''' mit dem Dampfe gefüllt, wo 110,025 grm.

Dasselbe Gefäss, sammt dem darin befindlichen Jod, mit Wasser so weit gefüllt, als ein Ueberrest von Luft es gestattete, wog: R = 664,

Endlich bei vollständiger Anfüllung mit Wasser wurde das Gew 664,550 grm. erhalten.

Hieraus findet man W = R — Q = 554,459 grm., und da 1 grm. W 22° = 1,002022 C. C., so ergibt sich:

Das Volum der entwichnen trocknen Luft $v = 554,459 \times 1,002022 =$

ıs Gewicht dieser Luftmenge beträgt $l = \frac{1{,}0527 . 335{,}57 . 555{,}580}{1000\,(273 + 24)} = 0{,}661$ grm.
ılglich das Gewicht des Dampfes $D = Q - P + l = 3{,}735$ grm.
e kleine Menge zurückgebliebener Luft hatte bei 22° einen Umfang von
R = 0,066 C. C. und ihre Volumserweiterung durch Erwärmung auf 185°
gt 0,036 C. C.
iher Volum von 3,735 grm. des Dampfes bei 185° und unter 335,57''' Druck:

$$V = 555{,}580 - 0{,}036 = 555{,}44 \text{ C. C.}$$

könnten bei diesen Rechnungen noch einige Berichtigungen in Anwenkommen, insbesondere wegen des mit der Temperatur veränderlichen nhaltes des Glasgefässes (59), so wie wegen der bei hohen Temperafehlerhaft werdenden Anzeigen des Quecksilberthermometers (72). Mit icht hierauf würde man z. B. 557,66 für das Volum des Joddampfes er- und die Temperatur von 185° würde sich in 182,°6 verwandeln. Die rch erzielte grössere Genauigkeit des Resultates würde jedoch gewöhnr eine scheinbare seyn, weil die bei der beschriebenen Versuchsmethode nmenden unvermeidlichen Beobachtungsfehler keineswegs zwischen en- Gränzen eingeschlossen sind. — Ueberdiess wird nachher gezeigt werden, ine, wenn auch nur annähernde Genauigkeit für den Zweck des Che- fast immer ausreicht. Aus diesem Grunde kann auch die Berichtigung der Ausdehnung der dem Dampfe beigemengten Luft, wenn das Volum ıen so wenig oder nicht viel mehr beträgt, wie in obigem Beispiele, ge- ch unterbleiben.

ı3. Wenn das Verhältniss des Gewichtes zum Rauminhalte dampfförmigen Körpers nur für eine einzige Spannung und einzige Temperatur bekannt ist, so lässt sich dasselbe für beliebige andere Temperatur oder Spannkraft, wobei der ıf die Gasform beibehalten kann, durch Rechnung finden.

s sey D das Gewicht, V das entsprechende Volum eines fes für die Temperatur T^0 und den Druck von B''', also $\frac{D}{V}$ ewicht von 1 C. C. Dampf, so erhält man (204) für irgend ındere Temperatur t^0 und einen andern Druck e''', das Ge- von 1000 C. C. Dampf: $d = \frac{1000\,(273 + T)\,e}{(273 + t)\,B} . \frac{D}{V}$; oder ır Einheit des Gewichtes (z. B. 1 Grm.) unter denselben Be- ngen entsprechende Volum $v = \frac{(273 + t)\,B}{(273 + T)\,e} . \frac{V}{D}$

ıpiel: Man erhält von 1 Grm. Wasser, bei 100° und unter 336,9'''' Pres- 700 C. C. Dampf. Es wiegen hiernach 1000 C. C. Wasserdampf, unter ısphärendruck und bei 120,69° des hundertheiligen Thermometers:

$$\frac{.73 + 100) . 2}{+ 120{,}69) . 1} . \frac{1}{1700} = 1{,}1146 \text{ grm.}$$

ıso findet man mittelst der zweiten Formel, dass 1 Grm. Wasser bei und unter 2 Atmosphärendruck 897 C. C. Dampf bildet. Im Allge- ist der Umfang von 1 Grm. Wasserdampf $v = \frac{4{,}55764\,(273 + t)}{e}$, wo e ıck in Atmosphären vorstellt.

e Rechnung setzt voraus, dass die Gesetze der Ausdehnung und Zusam- ıung durch Wärme und Druck für Gase und Dämpfe ganz gleiche Gel- ben; eine Annahme, die zwar annähernd richtig, in aller Strenge jedoch t nicht bewiesen und bei den Dämpfen, wenigstens in der Nähe ihrer

Sättigungspuncte nicht einmal wahrscheinlich ist. Die auf die angegebene Weise berechneten Gewichte der Dämpfe können daher nur als Annäherungen zur Wahrheit betrachtet werden.

254. Um die Dichtigkeit der Dämpfe unter einander und mit derjenigen der Gase bequemer vergleichen zu können, pflegt man sie, wie die der letzteren, auf den Barometerstand von 336,9''' und auf den Schmelzpunct des Eises zu beziehen, ohne darauf Rücksicht zu nehmen, ob ein Dampf unter diesen Umständen wirklich bestehen könne (Tafeln, S. 17). Denn die so gefundenen Zahlenwerthe bezeichnen zugleich für jede andere Pressung und Temperatur, und folglich auch für solche, wobei ein Dampf wirklich bestehen kann, das Verhältniss seiner Dichtigkeit zu derjenigen der Luft, in so fern nur beide gleichzeitig, unter demselben Druck und derselben Temperatur sich befindend, vorausgesetzt werden (204).

So findet man z. B. das Gewicht von 1000 C. C. Joddampf bei 0° und 336,9'''

(zu vergleichen das Beispiel in Nr. 252) $\frac{1000 \,.\, 458 \,.\, 335{,}57}{273 \,.\, 336{,}9} \cdot \frac{3{,}735}{555{,}44} = 11{,}237$ gr.

Das spec. Gewicht des Joddampfes, bezogen auf die Luft, beträgt hiernach $\frac{11{,}237}{1{,}2991} = 8{,}716$, was für eine Temperatur und was für ein Druck es nun auch sey mag, welchen dieser Dampf und die Luft gleichzeitig unterworfen sind.

255. Die Richtigkeit der specifischen Gewichts-Bestimmung eines Dampfes kann auf dieselbe Weise wie die Richtigkeit der Gaswägungen durch Rechnung geprüft werden; und diese Controle gründet sich ganz auf dieselben, bereits in Nr. 205 erörterten Erfahrungsgesetze. Man gewinnt hierdurch ein Mittel, die bei der direkten Bestimmung specifischer Gewichte nicht zu vermeidenden Beobachtungsfehler mit einer Sicherheit zu berichtigen, welche eben so gross ist, als der bei chemischen Untersuchungen gegenwärtig erreichbare Grad der Genauigkeit.

Wie man hierbei zu verfahren habe, wird sich am deutlichsten aus einigen Beispielen ergeben. Das specifische Gewicht des Joddampfes wurde = 8,7.. gefunden. Nun gibt das Aequivalent des Jods (1579,50), auf die Luft als Einheit bezogen, d. h. mit 1,1026 (dem spec. Gew. des Sauerstoffs) multiplicirt und durch 100 dividirt, die Zahl $\frac{1579{,}50 \,.\, 1{,}1026}{100} = 17{,}402 = 2 \,.\, 8{,}701$. Die Zahl 8,701 bezeichnet folglich das berichtigte spec. Gewicht des Joddampfes.

Das Aequivalent des Schwefels (201,17) mit 1,1026 multiplicirt und durch 100 dividirt, verwandelt sich in die Zahl 2,218. Die direkte Wägung des Schwefeldampfes lässt das spec. Gewicht desselben ungewiss zwischen 6,51 — ... Sein wahres spec. Gewicht muss daher 2,218 . 3 = 6,654 betragen.

Das beobachtete spec. Gewicht des Wasserdampfes ist 0,6235. Das Wasser enthält 1 Vol. Sauerstoffgas = 1,1026, verbunden mit 2 Vol. Wasserstoff
= 2 × 0,0688 . . . . . = 0,1376 zu
1,2402 Gewichtstheilen Wasser, welche 2 V. Dampf entsprechen; denn $\frac{1{,}2402}{0{,}6235}$ gibt beinahe die Zahl 2; $\frac{1{,}2402}{2} = 0{,}6201$ folglich das genaue spec. Gewicht dieses Dampfes.

Der Schwefeläther ist eine Zusammensetzung von 4 Aequivalenten Kohl...

ivalenten Wasserstoff und 1 Sauerstoff, welche zusammen 465,818 le bilden. Diese Zahl mit 1,1026 multiplicirt und durch 100 dividirt, Atomgewicht des Aethers, bezogen auf die Luft als Einheit. Das spec. Gewicht des Aetherdampfs, 2,586, ist ungefähr 2 mal in dieser n, woraus man sieht, dass die Bestandtheile von je 5,136 Theilen he 1 Vol. Sauerstoff enthalten, sich zu 2 Vol. Aetherdampf ver- t.

Der Wasserdampf als Betriebskraft.

f der bedeutenden Umfangsvergrösserung des Wassers gange in den dampfförmigen Zustand, so wie auf der t gesättigter Dämpfe, durch Abkühlung sogleich in den issigen Zustand zurückzutreten, beruht die Anwendung nten Wasserdampfs als bewegende Kraft.

In ein Glasgefäss (Fig. 88), das mit Wasser ganz angefüllt ist, sind mittelst eines doppelt durchbohrten Korks zwei Glasröhren eingelassen. Die eine geht vom Boden des Gefässes bis zu beliebiger Höhe senkrecht aufwärts. Die andere mündet unmittelbar unter dem Stöpsel in das Gefäss ein, ist oberhalb umgebogen und leitet senkrecht abwärts zu einem Wasserbehälter. Beide Röhren sind verschliessbar. Das Rohr *ab* sey bei *a* durch einen Hahn geschlossen, *cd* offen; man erhitze das Wasser, so werden sich bei irgend einem Temperaturgrade Dämpfe erzeugen, welche vermöge ihrer Spannkraft auf die Flüssigkeit drücken und dieselbe nöthigen, im Rohr *cd* aufzusteigen und oben auszufliessen. Gesetzt, dieses Rohr sey 250 Centimeter oder ungefähr 8 Fuss hoch (1000 Centim. ist beiläufig die Höhe einer Wassersäule, die dem Drucke der Atmosphäre das Gleichgewicht hält), so muss sich, um das Wasser zum Ausfluss zu bringen, ein Dampf von 1 ¼ Atmosphärendruck bei 106°,36 Temperatur bilden. Dampf von dieser Beschaffenheit en 1383mal so grossen Umfang, als ein gleiches Gesser. Betrüge der Inhalt des Gefässes 1383 C. C., so rm. Wasser, durch Umwandlung in Dampf, gerade hinn den Rest der im Gefässe enthaltenen Flüssigkeit auf . Höhe zu treiben. Man schliesse nun das Rohr *cd* mitahns *d*, öffne den Hahn *a*, und lasse das Gefäss, etwa tzen mit kaltem Wasser, sich abkühlen. Hierdurch entnern ein beinahe leerer Raum; daher steigt das Wasser ntern Behälter im Rohr *ab*, und wird, wenn die Höhe en nur etwas weniger als 1000 Centim. beträgt, in das eindringen und dasselbe wieder anfüllen. Durch 1 Grm. as sich in Dampf von 1,25 Atmosphärendruck verwan- also 1382 Grm. Wasser im Ganzen auf 1250 Centim.

Höhe geschafft worden, oder es ist ein Bewegungseffect (12 von 1,382 Kil. 12,50 Meter hoch erzielt worden.

Ein Kolben, der in einem Cylinder, ähnlich wie der Kolben Stiefel der Luftpumpe, dicht anschliesst, aber leicht beweglich kann durch die Kraft des gespannten Dampfes, je nachdem letztere wider die eine oder andere Kolbenfläche drückt, vor rückwärts geschoben werden, indem sich der Raum hinter der wegten Fläche mit Dampf anfüllt. Angenommen, die Spannk sey wieder durch $1\frac{1}{4}$ Atmosphärendruck gemessen, so muss fortschreitende Kolben, während er einem Gegendrucke von Atmosphären, d. h. einem Gewichte von 1,25 $\times$ 1,0337 Kil., in runder Summe von 1,250 Kil. (196), auf den Q. Centim. Flä das Gleichgewicht halten kann, für jedes Gramme Dampf, wel in das Innere des Cylinders gelangt, einen Raum von 1383 C beschreiben. Der Bewegungseffect von 1 Grm. Dampf bet hiernach 1,250 Kilogr. 1383 Centimeter hoch, was genau dass ist, wie 1,383 Kilogr. 12,50 Meter hoch.

Wir besitzen also im Wasserdampfe eine Betriebskraft, de Effect im Allgemeinen berechnet werden kann, indem man seiner Spannkraft entsprechenden Druck auf die Flächenei diesen Druck durch Gewichte gemessen, mit dem, in dem Maassverhältnisse ausgedrückten, Rauminhalte eines gegeb Gewichtes Dampf multiplicirt.

Dieser einfache Satz bildet die physikalische Grundlage Theorie der Dampfmaschine. Näheres über diese Maschine s man in den Werken über Mechanik und Maschinenlehre.

Gebundene Wärme der Dämpfe.

257. Es ist schon früher (85) erwähnt worden, dass die F sigkeiten beim Uebergange in den Dampfzustand Wärme bi und dass die Beständigkeit der Siedpuncte in diesem Umst eine genügende Erklärung findet. Diese zur Verflüchtigung e derliche Wärme eines Dampfes wird beim Rücktritte desselb den tropfbar flüssigen Zustand wieder frei, d. h. sie nimmt die E schaft wieder an, sich auf andere Körper übertragen zu las Hierdurch bietet sich ein im Principe sehr einfaches Mittel das selbe nachzuweisen und ihre Menge zu bestimmen. Leitet z. B. den Dampf von siedendem Wasser in kaltes Wasser, so dieses nach und nach ebenfalls bis zum Sieden erhitzt, was möglich wäre, wenn die eingeleiteten Dämpfe nicht mehr W enthielten, als ein von denselben umgebenes Thermomete zeigt (75). In der That weiss man aus Versuchen von Desp womit noch neuere von Brix übereinstimmen, dass die Gew einheit eines gesättigten Wasserdampfes von 100° Temperatu Wärme-Einheiten, d. h. 540 mehr enthält, als das Thermometer angibt. Durch diese Wärmemenge würde also die Temperatu

ers, unter Umständen, wobei es seine tropfbar flüssige Gestalt
halten müsste, von 0° bis zu 610° erhoben werden können.
e Dämpfe verschiedener Flüssigkeiten enthalten nicht die-
Menge gebundener Wärme. Während z. B. die Gewichtsein-
iedenden Wassers, um sich in Dampf zu verwandeln, 540
e-Einheiten verschlucken muss, bedarf ein gleiches Gewicht
ei 78,°4 siedenden Alkohols nur 211 Wärmeeinheiten; der
efeläther, welcher bei 35,°7 siedet, 90 Wärme-Einheiten; das
6° siedende Terpenthinöl 77,8 Wärme-Einheiten; das Citro-
, dessen Siedpunct bei 176° liegt, 80 Wärme-Einheiten. —
rt man diese Zahlen durch die specifischen Wärmen der be-
iden Flüssigkeiten, so findet man die gebundene Wärme der-
, bei einer jeden auf ihre eigene Wärmecapacität bezogen.
lie specifische Wärme des Aethers ist 0,55; die des Terpen-
s 0,426; die Quotienten $\frac{90}{0,55} = 163,6$ und $\frac{77,8}{0,426} = 182,6$ sa-
aher: dass der Aether durch die gebundene Wärme seines
fes, als freie Wärme gedacht, auf 163,°6 über seinen Sied-
, im Ganzen also auf (35,°7 + 163,°6) und ebenso das Ter-
inöl auf 182,°6 über seinen Siedpunct würde erhitzt wer-
können.

e genaue Bestimmung der latenten Wärme der Dämpfe, insbesondere der-
n des Wasserdampfes ist, seitdem Black die Eigenschaft des Wassers, bei
erdampfung Wärme zu verschlucken, zuerst nachgewiesen hat, von vielen
ken mit ungleichem Erfolge versucht worden. Die angewendeten Unter-
gs-Methoden kommen alle darauf hinaus, dass die Dämpfe durch mittel-
mittelbare Berührung mit einer bekannten Gewichtsmenge kalten Was-
von bekannter Temperatur verdichtet wurden. Aus der beobachteten
raturerhöhung und dem Gewichte des verdichteten Dampfes konnte dann
bundene Wärme desselben berechnet werden. Die neueste und zugleich
verlässigste Arbeit über diesen Gegenstand verdankt man Brix (Pogg.
. 55, S. 341). Der von ihm gebrauchte Apparat (a. a. O., S. 360 ausführ-
schrieben) ist eine Abänderung des Rumford'schen Calorimeters (79).
der grossen Menge latenter Wärme, welche der Wasserdampf enthält,
seine Anwendung als Heitzmittel. Jedes Pfund Dampf hat nämlich hin-
h seines Wärme-Inhalts ganz gleichen Werth mit 6,4 Pfund siedend heis-
ssers, und da sich der Dampf durch Röhren, die jedoch, um die Abkühlung
hindern, mit schlechten Leitern der Wärme umhüllt seyn müssen, sehr
nd mit vollkommener Sicherheit vor Feuersgefahr nach jedem belie-
rte, und selbst auf nicht unbedeutende Entfernungen hin fortleiten lässt,
t die Methode der Dampfheitzung in vielen Fällen grosse Bequemlichkeit
kliche Vortheile. — Der auf diesem Wege zu erwartende Wärme-Effekt
doch, selbst im günstigsten Falle, hinter demjenigen zurückbleiben, wel-
ch unmittelbare Benutzung der von irgend einem Brennmateriale er-
Wärme, und bei übrigens gleich zweckmässiger Anordnung erreicht
kann.

). Wenn gesättigte Dämpfe, gleichgültig von welcher Spann-
aus engen Oeffnungen ihrer Erzeugungsgefässe in Räume
men, worin sie einem geringeren Drucke unterworfen sind
orin folglich ihr Umfang sich erweitern muss, so vermindert
it ihrer Spannkraft zugleich auch ihre Temperatur. In Folge

der Umfangs-Vergrösserung ist also ein Theil ihrer freien W
gebunden worden.

Man lasse Wasserdampf, der in einem kupfernen Siede
und in Berührung mit noch tropfbarem Wasser beliebig ge
ist, durch eine enge Oeffnung in die freie Luft ausströmen u
durch, bei vergrössertem Volume, seine Spannkraft sich m
jenigen der Atmosphäre ins Gleichgewicht setzen, so wir
finden, dass seine Temperatur in geringem Abstande von de
nung weit unter 100° gesunken ist. Diese bedeutende Abk
wird aber zum Theile dadurch bewirkt, weil der ausströ
Dampf sich sogleich mit der umgebenden kälteren Luft ver
Verhindert man diese Mengung, indem man den Dampf
durch ein vor der Kesselöffnung luftdicht angekittetes Glas
strömen, das übrigens sehr viel weiter seyn kann als die Oe
und nur als Hülle dient, um die Berührung mit der Luft abz
so behauptet der Dampf innerhalb des Rohrs stets die de
sphärendrucke entsprechende Siedetemperatur, was imm
Temperatur innerhalb des Kessels gewesen seyn mag. —
ähnliche, in grossem Maassstabe angestellte Versuche hat P
(zu vergleichen sein Werk: „Neue Theorie der Dampfma
bewiesen, dass Dämpfe im Maximum ihrer Spa
welche sich unter Umständen ausdehnen, wobe
Wärme von Aussen weder zufliesst noch entzog
stets eine solche Menge ihrer eignen freien Wär
den, dass die hierdurch verminderte Temperatur
gleichzeitig verminderten Spannkraft wiede
Maximum der Dichtigkeit oder Spannkraft entspri

Werden gesättigte Dämpfe durch äusseren Druck ver
so müsste folglich auch umgekehrt die hierdurch wieder fre
dende Wärme, in so fern dieselbe durch Abkühlung von A
nicht abgeleitet würde, gerade hinreichend seyn, um die Te
ratur des Dampfes so weit zu erhöhen, als erforderlich ist, um ih
vergrösserter Spannkraft und vermindertem Volume fortwäh
im gesättigten Zustande zu erhalten.

Der gesammte Wärme-Inhalt eines gesättigten D
pfes, bei welcher Temperatur und zugehöriger Sp
kraft man ihn auch betrachten mag, ist also eine un
änderliche Grösse. Die Menge der gebundenen Wä
dagegen ist veränderlich; sie vermindert sich in
Grade, als die freie Wärme, d. h. die Temperatur
Dampfes, zunimmt.

Z. B. Unter dem mittleren Atmosphärendruck gesättigter Wasserdamp
hält 100° an freier und 540° an gebundener Wärme. Bis zu zwei Atmosph
druck comprimirt, werden noch weitere 20°,7 frei und bleiben also nur
an gebundener Wärme. Unter 10 Atmosphärendruck würde, ohne den E
äusserer Abkühlung, die Temperatur desselben Dampfes bis zu 181°,3 st
müssen und folglich nur 458°,7 gebunden bleiben. Denkt man sich eine Qu

ıerdampf bis zu demselben Umfange zusammengedrückt, den er als tropf-Flüssigkeit einnahm, so müsste seine Temperatur auf 640° steigen und die :it verdichtete ausdehnsame Flüssigkeit würde gar keine Verflüchtigungs-ıe enthalten.

ie Ansicht, dass die Summe der freien und gebundenen Wärme des gesätı Wasserdampfes bei allen Pressungen dieselbe bleibe, ist als Erfahrungsz zuerst von Watt ausgesprochen worden. Später behauptete Southern: der gesammte Wärme-Inhalt, sondern die gebundene Wärme des Dampfes nveränderlich; wenn z. B. einfach gespannter Dampf 100° freie und 540° ıdene Wärme enthalte, so müsse doppelt gespannter Dampf bei 120°,7 Wärme ebenfalls 540° gebundene Wärme einschliessen u. s. f. Pam-'s Beobachtungen setzen die Unrichtigkeit dieser Vorstellung ausser Zweidem sie zeigen, dass die Wahrheit von dem von Watt aufgestellten Erfahgesetze jedenfalls um keinen mittelst des Thermometers und Manometers ıaren Werth abweicht. Hiermit stimmen überdiess auch noch andere, im ıden Paragraphen angeführte Thatsachen überein.

59. Ungeachtet sich das Wasser in verschlossenen Gefässen über seinen gewöhnlichen Siedpunct erhitzen lässt, so können (aus Gründen, die vorher dargelegt worden sind) die ausıenden Dämpfe, sobald sie keinem grösseren Drucke mehr esetzt sind, als dem der Atmosphäre, auch keine höhere Temıur mehr beibehalten, als die eines unter dem bestehenden ısphärendrucke gesättigten Dampfes.

Es gibt noch andere Ursachen, wodurch das Sieden des Wass sogar in ganz offenen Gefässen, aufgehalten werden kann. che Ursachen sind: der Druck des in einem Siedegefässe entıenen Wassers auf die erhitzte Bodenfläche; die Adhäsion der ısswände, nämlich die Kraft, womit die festen Theile der Wände ı Bestreben der verdampfenden Wassertheile, sich abzulösen, gegenwirken, und insbesondere noch die der Dampfbildung entıengesetzte Anziehung der flüssigen Theile selbst, so wie von zen und andern Stoffen, welche im Wasser aufgelöst sind.

Von welcher Beschaffenheit aber auch ein Siedegess seyn, wie hoch man es mit Wasser angefüllt haben, ıs für Stoffe dieses letztere in Auflösung enthalten d bis zu welcher Höhe dadurch seine Siedetemperatur ıh steigern mag, — die aus der siedenden Flüssigkeit ıh erhebenden Dämpfe werden stets diejenige Temratur besitzen, welche unter dem bestehenden äusren Drucke einem Dichtigkeits-Maximum entspricht.

Das Gewicht des Wassers über der Bodenfläche eines Siedegefässes wirkt eine Vergrösserung des Atmosphärendrucks. Entspricht letzterer, für sich ıchtet, z. B. dem Gewichte einer Wassersäule von 32 Fuss und der Wasserıd im Dampfkessel beträgt 2 Fuss, so müssen die Dampfblasen im Augenık, da sie sich von der Bodenfläche erheben, die erforderliche Temperaturı und Spannkraft besitzen, um einem Drucke von 34 Fuss Wasser das ıgewicht halten zu können.

Das Wasser müsste, so sollte man erwarten, bei genügender Verminderung äusseren Luftdrucks, z. B. unter der Luftpumpe, schon bei der gewöhnlichen ıperatur, ja selbst bei 0°, zum Sieden gebracht werden können. Das Sieden ı. die Entbindung von Dampfblasen an den Wänden der Gefässe) bei so

niederen Temperaturen wird aber, wenigstens dann, wenn das W
ganz befreit ist, durch die Adhäsion der Gefässwände und d
flüssigen Theile unter einander verhindert. Bei hohen Tempera
Einfluss weniger auffallend. Indessen findet man, dass die Tem
denden Wassers in Gefässen von Porzellan oder Glas am Boden
ist, als an der Oberfläche. Metallgefässe zeigen diesen Untersc

Bei manchen Flüssigkeiten, zumal wenn sie in Glasgefässen
bemerkt man ein sehr unregelmässiges Sieden. Die Dampfbla
nur einzeln und stossweise und sind oft so gross, dass sie bein
Flüssigkeit und zuweilen das Gefäss selbst heben. Man nennt di
Aufstossen. Sie ist die Folge eines gewaltsamen Abreisse
vom Boden, nachdem seine Spannkraft, bei allmählig erhöh
endlich so gross geworden ist, dass er den durch die Adhäs
äusseren Druck zu überwinden vermag. Die Temperatur einer
siedenden Flüssigkeit befindet sich in einem fortwährenden S
kommt auf ihren niedrigsten Werth, unmittelbar nachdem eine
blase sich erhoben hat, und steigt dann allmählig bis zur En
neuen Dampfblase. Manche Flüssigkeiten, z. B. concentrirte
lassen sich wegen des Aufstossens nur schwierig destilliren.
diesen Uebelstand durch Einbringen kleiner Stücke Metall ver
ganz beseitigen. Gewöhnlich werden Abfälle von Platin dazu ve
oxydirbare Metalle, wie Zink und Eisen, auch poröse Kohle, s
noch wirksamer.

Wenn gleich die Adhäsion der Gefässwände das Sieden bald
niger erschwert, so trägt sie doch wieder andererseits wesent
Uebergang der Wärme aus der Gefässmasse in die Flüssigke
Flüssigkeiten, welche die Wände eines Gefässes nicht benetze
denselben in einer verhältnissmässig weit weniger innigen Be
bedürfen aus diesem Grunde mehr Zeit, um die Wärme der Gef
aufzunehmen. Glühende Metallplatten werden vom Wasser und
chen andern Flüssigkeiten nicht benetzt. Bringt man Wasser
Metallgefäss, z. B. in eine glühende Platin- oder besser Silbers
und mit der Vorsicht, dass die Temperatur der Gefässmasse
Glühehitze sinken kann, so behauptet die Flüssigkeit eine con
wie Quecksilber in Glasgefässen, und verdampft, ungeachtet d
henden Metalls, auffallend langsam. Ist die Schale geräumig
und nach so viel Wasser eintragen zu können, als nöthig ist, um
desselben zu prüfen, so findet man, dass der Stand des Thermo
lich mehrere Grade unter dem Siedpuncte bleibt. Dieses Ver
von Leidenfrost beobachtet worden; daher der Name: L
Phänomen.

Der Widerstand, den verdampfende Flüssigkeiten am Bo
erfahren, hat keinen bedeutenden Einfluss auf die Temperatur a
Regenwasser, destillirtes und überhaupt reines Wasser, zum Sie
daher an seiner Oberfläche einen, je nach der Beschaffenheit d
zwar nicht immer genau gleichen, aber doch nie bedeutend höhe
als der bestehende Atmosphärendruck verlangt. Selbst Unrein
in der Flüssigkeit schweben, verändern ihren Siedpunct nicht h
durch aufgelöste Stoffe wird das Sieden fast immer beträchtlich
oder weniger, je nach ihrer Menge, Beschaffenheit und Verw
Wasser. Der Siedpunct des Wassers steigt mit der Menge ei
lösten Salzes, jedoch nicht im Verhältniss dieser Menge. (Le
Ann. B. 37, S. 379.) Als Beleg für den ungleichen Einfluss ver
dient die folgende Tabelle:

ncte gesättigte Lösung.	Siedpunct.	Salzgehalt in 100 Theilen Wasser.
'atron	100,6	31,5
ali	101,7	17,5
. . . .	104,0	52,0
ron	104,6	48,5
'atron	106,5	113,2
. . . .	108,3	59,4
. . . .	108,4	41,2
. . . .	114,2	88,9
ali	115,9	335,1
itron	121,0	224,8
i	135,0	205,0
alk	151,0	362,2
. . . .	179,5	325,0
mmoniak	180,0	unendlich.

: der Anzeigen des Quecksilberthermometers beruht zum htigen Bestimmung seines Siedpunctes. Aus dem Vorher- in, dass nur die aus siedendem Wasser aufsteigenden Dämpfe rheit vergleichbare und dem Barometerstande entsprechende n. Um die Lage des Siedpunctes eines Thermometers zu iher rathsam, dasselbe nicht in die siedende Flüssigkeit ein- ur der Einwirkung der Dämpfe auszusetzen. Das Instrument n einen Glaskolben mit langem Halse, worin man Wasser in nterhält, so weit eingesenkt, dass es, ohne die Oberfläche berühren, doch seiner ganzen Länge nach bis in die Gegend n den heissen Dämpfen umspült werden muss. Um eine Ab- ere Einflüsse ganz sicher zu vermeiden, befestigt man über- eterröhre etwas unter der Stelle des Siedpunctes mittelst en Glascylinder, der bis unter den Quecksilberbehälter hin- seits wieder durch einen Kork geht, welcher auf dem Halse tzt. (Ausführlicheres über die Feststellung des Siedpunctes Ann. B. 40, S. 48. Ebendaselbst, S. 567, findet man eine sehr Rudberg angewendete Calibrirungsmethode des Thermo- h Beobachtung bestimmte Siedpunct ist übrigens nur dann arometer, auf 0° reducirt, zufällig auf 336,9 Linien stand. tand desselben wird eine Berichtigung erforderlich. Ange- nur 335''', so ist die entsprechende Siedetemperatur 99°,85 s der Proportion 99,85 : l = 100 : x ergibt sich dann der 'rost- und Siedpunctes $x = \frac{100\,l}{99{,}75}$; l bedeutet die mittelst eines sene Entfernung des Frostpunctes und beobachteten Sied-

des andern festen Punctes der Thermometerscale ist weit h, und erfordert nur, dass das Thermometer bis in die Ge- nctes mit einem Gemenge von Schnee und reinem Wasser lches sicher die Temperatur von 0° besitzt.

aus einer Flüssigkeit zugleich mit ihrem Dampfe gasförmiger Körper von grösserer Beständigkeit kt die Temperatur der Dämpfe stets unter den dem entsprechenden Siedpunct. Der Grund ist, weil um diejenige des beigemengten beständigeren etragen muss, als der äussere Druck (249).

Die Verdampfung unter Mitwirkung einer Gasentwicl
ein unter möglichst günstigen Verhältnissen eingeleitetei
stungsprocess, indem durch den Gasstrom nicht nur di
stende Fläche vergrössert, sondern auch ein regelmäs
dauernder Wechsel der den Dampf aufnehmenden Räum
wird. Es sey V das Volum des unter dem Drucke *b*, währ
gewissen Zeit, in der Flüssigkeit sich entbindenden trockn
p die Spannkraft des aufgenommenen Dampfes; so kann
des austretenden (mit dem Dampfe gemengten) Gases
betrachtet, nur $b-p$ betragen. Der Raum V hat sich d
rend der Dampfaufnahme und indem er immer dem äusser
b das Gleichgewicht hält, in $\frac{V.b}{b-p}$ erweitert. Dieser ga
ist mit Dampf von der Pressung *p* angefüllt. Je näher di
ratur einer Flüssigkeit ihrem wahren Siedpuncte liegt, je
also die Spannkraft (*p*) ihres Dampfes von dem äusser
(*b*) verschieden ist, einer um so geringeren Gasmenge
um ein gewisses Dampfvolum aus der Flüssigkeit gera
zuführen, als befände sie sich im lebhaftesten Sieden.

Z. B. Wasser von 99° Temperatur bildet einen Dampf von 27'
Jeder K. Z. Luft von derselben Temperatur und unter 28″ Druck
Flüssigkeit in Berührung gebracht, wird sich bis zu 28 K. Z. ausdeh
eben so grosses Volum Dampf von 99° und 27″ Spannung mit sich f

Hieraus erklärt sich das plötzliche, heftige Aufwallen siedend
bis zum Siedpuncte erhitzter Flüssigkeiten, wenn man poröse Stoffe
Holz u. s. w., die sich vorher mit Luft oder einem andern Gase
hatten, hineinwirft.

Die rasche Entbindung der Gase, namentlich der Kohlensäure, au
lösungen, durch Einbringen poröser oder solcher Stoffe, durch deren
auf die Flüssigkeit sich ein anderes, weniger lösliches Gas erzeugt,
aus derselben Ursache.

Der durch einen Gasstrom beschleunigte Verdunstungsprocess
manchen Fällen eine vortheilhafte Anwendung, um Flüssigkeiten o
eines luftverdünnten Raumes bei Temperaturen unter ihrem gewöhn
puncte abzudampfen oder zu destilliren. Destillation des Terpe
anderer flüchtiger Oele mittelst Wasserdämpfen, in welchen die fl
stanz gerade so wie in einem andern Gase verdunstet.

Die Eigenschaft der Flüssigkeiten, im Raume gasförmiger oder da
Stoffe zu verdunsten, macht es schwierig, solche Flüssigkeiten, dere
nicht sehr weit von einander entfernt liegen, durch Destillation
So ist es z. B. unmöglich, den Alkohol selbst durch wiederholte Dest
beigemischten Wasser zu trennen. Die Scheidung des absoluten A
lingt aber durch Abziehen des auf die gewöhnliche Weise so weit
concentrirten Weingeistes über Chlorcalcium, weil dieses zu dem
geringe Verwandtschaft besitzt, dagegen im Wasser sich auflöst
Siedpunct bis nahe 180° erhebt, wodurch bei derjenigen Temperatur,
der absolute Alkohol abdestillirt (78°,4), keine Wasserdämpfe von l
Spannung entstehen können.

261. Verdampfende Flüssigkeiten können nur dann
Temperatur annehmen, wenn die von dem Dampfe g
Wärme durch Zufluss von Aussen stets wieder ersetzt

grösser als der Verlust, so steigt die Temperatur bis
les Siedpunctes unter dem herrschenden Drucke. Geht
mit dem Dampfe fort, als von Aussen zufliessen kann,
Temperatur. Letzteres ist der Fall bei allen der frei-
lampfung überlassenen Flüssigkeiten. Aber auch diese
kann eine gewisse Gränze nicht überschreiten. Denn
Körper kälter wird als seine Umgebung, beginnt der
Wärme von Aussen und vermehrt sich bei fortdauern-
ler Temperatur; dagegen die Expansivkraft des Damp-
die Ursache der Dampfbildung und fortschreitenden
nimmt ab; es muss daher endlich ein Zeitpunct ein-
lie durch fortdauernde Dampferzeugung verschluckte
gleichzeitig von Aussen zuströmenden gleich ist, also
ner weiteren Temperaturerniedrigung wegfällt.

man die mit Linnen oder mit Schwamm umgebene Kugel eines
mit Wasser, so sinkt die Quecksilbersäule sogleich um mehrere
an um 8 — 10° heruntergehen, wenn man das befeuchtete Ther-
nem Faden rasch herumschwingt. Mittelst Aether oder Schwefel-
in man auf diese Weise die Temperatur um 15 — 20° erniedrigen.
nige Tropfen Wasser in ein Uhrglas, giesst Aether darauf, und
ines Löthrohrs mit weiter Oeffnung rasch einen Luftstrom darüber
starrt das Wasser. — Die wirksamsten, bis jetzt bekannten Er-
durch Verdunstung sind: schweflige Säure und Kohlensäure im
en Zustande. Die erstere, bei — 20° einem Luftstrome ausgesetzt,
theilweise Verdunstung bis unter — 60°; die letztere erniedrigt
ir von 0° bis zu — 100°, indem der nicht verdunstete Theil zu
äure erstarrt; dabei vermindert sich ihr Expansivvermögen in
s die feste Kohlensäure bei langsamer Verdunstung kaum be-
hwindet. (Pogg. Ann. B. 36, S. 146.)

flüchtigen Stoffen verhindert die Luft eine sehr bedeutende Ab-
durch direkte Wärmemittheilung, theils indem sie die Verdun-
Wasser, Aether, Schwefelalkohol u. s. w. erkalten daher am
sie im leeren Raume verdampfen. Man bringe ein Uhrglas mit
über ein weites, concentrirte Schwefelsäure enthaltendes Gefäss,
ke einer guten Luftpumpe, und pumpe so gut wie möglich aus;
rd nach einiger Zeit erstarren. Wenn das Uhrglas der Säure nicht
d nur an wenigen Puncten aufliegt, die Säure ganz concentrirt
ne fähig ist, die Luft wenigstens bis zu 1 Linie Pressung zu ver-
lingt dieser Versuch selbst bei einer Temperatur von 25 — 30°.
r einer mit Wasser befeuchteten Thermometerkugel sinkt sogar
— 37°. (Leslie.)

Wollaston's Cryophor (Eisträger) beruht auf demselben Grundsatze, wie der vorher beschriebene, von Leslie erfundene Apparat zur Erzeugung künstlicher Kälte. Ein gebogenes Rohr (Fig. 89), an beiden Enden zugeschmolzen, etwas Wasser enthaltend und luftleer. Man bringt das Wasser in den einen Schenkel und taucht dann eine Kältemischung; die Flüssigkeit, hierdurch genöthigt, rasch , kühlt sich ab und gefriert nach einiger Zeit.

Hygrometrie.

Hygrometrie hat zur Aufgabe: die Bestimmung der
und Menge des bei irgend einer Temperatur in der

atmosphärischen Luft oder auch in einem andern Gase enthalten Wasserdampfes.

Diese Bestimmung wird zu einer blossen Rechnungsaufg wenn die Luft mit Dampf gesättigt ist. Die Spannkraft findet in diesem Falle mittelst irgend einer der Interpollationsform welche die Relation zwischen der Temperatur und den Maxim Spannkräften des Wasserdampfes ausdrücken. Wählt man z. B. Formel β (Nr. 244), und setzt darin für t^0 die beobachtete Luftte peratur, so wird die gesuchte Dunstspannung in Par. Linien funden.

Zur Ersparung dieser Rechnungen dient die Tafel XV, a, wel zwischen — 20° und + 35° für die ganzen und halben Temp turgrade die entsprechenden Spannungsmaxima gibt. Eine wei Ausdehnung dieser Tafel bis zu Zehntel-Graden ist ohne beson Werth; denn die Unsicherheit in den für die Spannkräfte des W serdampfes durch direkte Messung gefundenen Werthen betr mehr als die durch den Unterschied eines halben Temperat grades bewirkten Veränderungen derselben.

Ist die Spannkraft des Dampfes für eine gewisse Temper gegeben, so findet man (253), wie viel Gewichtstheile dess in 1000 C. C. Luft enthalten sind, mit Hülfe der Formel:

$$d \text{ grm} = \frac{1000\,(273 + T)\,e}{(273 + t)\,B} \cdot \frac{D}{V};$$ die sich, indem T =

$$B = 336{,}9 \text{ und } \frac{D\,1000}{V} = 0{,}80557$$ (Tafeln, S. 17) gesetzt wi

verwandelt in

$$d \text{ grm} = \frac{0{,}6528 \,.\, e}{278 + t}; \quad (u)$$

263. Nur selten ist die Luft mit Wasserdampf gesättigt. Bestimmung ihres Feuchtigkeitszustandes, das ist: des V hältnisses der Dampfmenge, welche wirklich darin enthalten zu derjenigen, die bei der herrschenden Temperatur darin enth seyn könnte, ist nun vorzugsweise der Zweck einer hygrom schen Untersuchung.

Es lassen sich aus den bekannten Eigenschaften des Was dampfes verschiedene Methoden ableiten, den Feuchtigkeitszus der atmosphärischen Luft zu messen. Mit dem Worte Hy meter bezeichnet man jede zu einer solchen Messung brauch Geräthschaft.

264. Die Menge der Luftfeuchtigkeit kann direkt bestimmt den, indem man ein abgemessenes Volum Luft durch ein Gla leitet, das geschmolzenes und gröblich zerstossenes Chlorca oder mit concentrirter Schwefelsäure befeuchteten Asbest en Die Luft, wenn sie nur langsam genug durch das Rohr geht, vollkommen ausgetrocknet; der Gewichtsunterschied des letz

l nach dem Versuche gibt daher unmittelbar die gesuchte
enge. Dividirt man dieselbe durch die Gewichtsmenge
welche derselbe Raum bei derselben Temperatur aufneh-
nte, so erhält man den Feuchtigkeitszustand. Einen für
'erfahren sehr geeigneten Apparat hat Brunner beschrie-
Pogg. Ann. B. 20, S. 274.

Wenn die atmosphärische Luft bei unverändertem Baro-
nde langsam erkaltet, so kühlen sich auch die Dämpfe ab,
sie enthält und nähern sich dadurch ihrem Sättigungs-
ohne dass ihre Spannkraft sich ändern kann, bis sie end-
fortdauerndem Sinken der Temperatur ein Maximum ihrer
eit (den Sättigungspunct) erreichen. Dieser Temperatur-
ei welchem also, wenn er die herrschende Temperatur be-
le, die Atmosphäre gerade mit Dampf gesättigt seyn würde,
Namen des Thaupunctes erhalten, weil Abkühlung unter
n eine theilweise Verdichtung zu tropfbarer Flüssigkeit
Thauniederschlag) bewirkt.

nt man die herrschende Temperatur und den Thaupunct,
sich der Feuchtigkeitszustand der Luft berechnen; denn
ı dem mariottischen Gesetze Dichtigkeit und Gewicht des
dampfes, so lange die Temperatur sich nicht ändert, seiner
raft direkt proportional sind, so muss die dem Thaupuncte
chende Dunstspannung sich zu der der herrschenden Tem-
entsprechenden Dunstspannung verhalten, wie der wirk-
assergehalt der Luft zu demjenigen, welchen sie (bei der
enden Temperatur) möglicher Weise aufnehmen könnte.

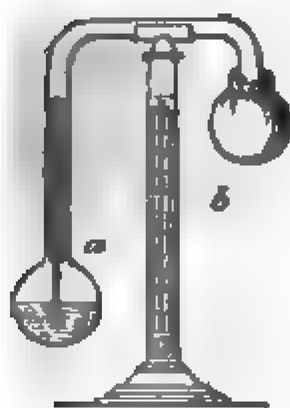
diesem Wege hat zuerst Dalton den Feuchtigkeitszustand
t wirklich gemessen. Zur Bestimmung des Thaupunctes
er sich eines Verfahrens, das früher schon Le Roy an-
et hatte. Ein Glas wird mit kaltem, nach Erforderniss durch
r auflösliche Salze abgekühltem Wasser gefüllt und ein
mpfindliches Thermometer hineingestellt. Die Kälte des
heilt sich der umgebenden Luft mit, ihre Temperatur sinkt
l gelangt der in ihr vertheilte Dampf auf seinen Sättigungs-
So wie sich jetzt die Temperatur noch weiter erniedrigt,
ch nicht aller Dampf mehr gasförmig erhalten, ein Theil
rdichtet und setzt sich als Thau an den kalten Glaswänden
etzt, die Temperatur der Luft sey 16° und das Thermometer
ser zeige 8° in dem Augenblicke, da das Glas mit einem
aber noch deutlich sichtbaren Anfluge von Feuchtigkeit
en wird.

giesse das Wasser in ein anderes Glas, dessen Wände
nz trocken und rein sind. Angenommen, es bilde sich
geringste Spur mehr eines Feuchtigkeits-Niederschlags
eingetauchte Thermometer zeige 9°; so muss der Thau-
edriger als 9°, aber höher als 8° liegen. 8°,5 ist ein ge-

näherter Werth dafür. Nun ist die der Temperatur von 16° zu hörige Dunstspannung 6''',33; für 8°,5 findet man 3''',96. Dies Spannkraft besitzt aber dieser bei 8°,5 gesättigte Dampf auch 16°, weil er sich in der Atmosphäre, während er sich erwär frei ausdehnen konnte. Der Feuchtigkeitszustand der Luft w folglich durch die Zahl $\frac{3,96}{6,33} = 0,626$ ausgedrückt, d. h. sie ent 62 — 63 Procent der Wassermenge, welche sie aufnehmen kön

266. Um nach dieser Methode den Thaupunct mit mehr B quemlichkeit und grösserer Sicherheit und Schärfe erfassen können, hat Daniell das nach ihm benannte, später namentl von Körner verbesserte Instrument ersonnen. Es besteht a zwei Glaskugeln *a* und *b* (Fig. 90), welche du ein Rohr in Verbindung stehen; sie sind luftle und *a* ist zur Hälfte mit Aether gefüllt. Die Kug eines sehr feinen und empfindlichen Thermomet taucht in den Aether. Die Kugel *a* ist platinirt u dadurch metallisch glänzend; *b* ist mit Mussel umgeben. Man träufelt etwas Aether auf die Hülle. Die hierdurch bewirkte Abkühlung der Ku gel *b* hat eine Verdichtung des im inneren Raum derselben enthaltenen oder in diesen Raum ei dringenden Dampfes zur Folge. Daher Verdampfu der Flüssigkeit in *a* und allmähliges Erkalten derselben. Der Tha punct wird bald erreicht, überschritten und eine dünne Lage Flü sigkeit an der Kugel abgesetzt. Da die metallisch glänzende Ober fläche der letzteren durch den geringsten Anflug von Feuchtigk sogleich ein mattes Ansehen gewinnt, so lassen sich die Gränz Temperaturen, wo der Niederschlag noch nicht stattfand und er sich eben gebildet hat, ziemlich scharf erfassen. Ein gleich hendes Thermometer, an demselben Apparate angebracht, die Lufttemperatur.

Fig. 90.



267. Der Gebrauch des Daniell'schen Hygrometers und auf demselben Principe beruhenden hygrometrischen Vorrichtun erfordert stets die Anstellung eines Versuchs, der Zeit in Ansp nimmt. Man hat nicht den Vortheil, wie bei Barometer und Th mometer, durch blosse Beobachtung sogleich das Resultat zu fahren. Diesen Vorzug bietet das Thermo-Hygrometer, Psychrometer genannt. Es ist seinem Principe nach von Le erfunden, aber zuerst in der Form, welche ihm August gab, wirkliches Messinstrument geworden.

Von zwei ganz gleichgehenden, in Fünftel-Grade getheil Thermometern (Fig. 91), die neben einander an demselben Gest befestigt sind, ist das eine mit Musselin umwickelt, welcher und unter der Thermometerkugel zusammengebunden ist un

Form eines Stranges in ein mit reinem Wasser angefülltes Glasgefäss hinabreicht. Durch Aufsaugen der Flüssigkeit bleibt die Thermometerkugel, ungeachtet der eintretenden Verdunstung, fortwährend benetzt. Ihre Temperatur erniedrigt sich aber, um so mehr, je rascher die Verdunstung vor sich geht, d. h. je trockner die Luft ist. Zuletzt, wenn der Wärmeverlust sich mit dem Wärmezufluss in's Gleichgewicht gesetzt hat, muss das benetzte Thermometer immer eine beständige Temperatur annehmen; die der herrschenden Temperatur und Luftbeschaffenheit entsprechende Verdunstungskälte. Von diesem Augenblicke an beruht die Fortdauer der Verdunstung hauptsächlich auf derjenigen Wärme, welche das Wasser von der umgebenden Luftschicht empfängt, und die es mit
npfe wieder zurückgibt. Die Luft sättigt sich mit diesem
während ihre Temperatur bis zur Verdunstungskälte her-
Die freie Wärme, welche sie verlor, kommt also derjeni-
ich, die sie als gebundene Wärme wieder erhielt.
kennt die gebundene Wärme des Dampfes, so wie die spe-
der Luft. Aus dem Wärmeverlust der letzteren, wofür der
hied des Standes des trocknen und nassen Thermometers
asstab gibt, lässt sich daher die Dampfmenge berechnen,
sie noch aufnehmen musste, um sich bei der Temperatur
sen Thermometers (der Verdunstungskälte) damit zu sät-
Hieraus kann alsdann der wirkliche Feuchtigkeitsgehalt
oder die Spannkraft desselben leicht abgeleitet werden.
ie Rechnung gründet sich auf zwei Voraussetzungen, welche
aller Strenge als richtig angenommen werden können;
mlich die das nasse Thermometer umspülende Luft sich
dig mit Dampf sättige, und dass alle hierzu verwendete
von der Luft selbst genommen werde. Aber abgesehen
lass beide Voraussetzungen nicht ganz richtig sind, muss
lurch begangene Fehler je nach der Schnelligkeit der Luft-
ng und der Beschaffenheit der Wärme strahlenden Umge-
ränderlich seyn. Die in der Rechnungsformel enthaltene
e muss daher, streng genommen, für jeden Standort des
Hygrometers durch vergleichende Versuche mit dem
schen oder Daniell'schen Hygrometer berichtigt werden.
eses Instrument frei steht, und bei bewegter Luft, doch
eftigen Winde ausgesetzt ist, empfiehlt **August** die fol-
Formeln, als wohl übereinstimmend mit der Erfahrung.
'emperaturen über 0°:

$$e = e^1 - 0{,}0008\ (t - t^1)\ b$$

'emperaturen unter 0°:

$$e = e^1 - 0{,}0007\ (t - t^1)\ b.$$

Es bedeutet b den Barometerstand, t den Stand des troc t^1 den des nassen Thermometers, e^1 die der Verdunstungskält sprechende, e die gesuchte Spannkraft.

Die beim Gebrauche des Thermo-Hygrometers vorkommenden Rech lassen sich in vielen Fällen mittelst einer von Eckhardt (Ann. der B. 13, S. 361) entworfenen Tafel ganz ersparen. (Siehe Tafel XVI.) Dies gibt den Wassergehalt der Luft in Milliontheilen des Raumes. Das trockn mometer stehe z. B. auf 12°; die Differenz beider Thermometer sey 4, s die Tabelle, dass in 1 Kubikmeter Raum 6 Kubik-Centimeter Wasser in l form enthalten sind.

Der Feuchtigkeitszustand, gleich wie die Temperatur der Luft, ist ein aufhörlichen Wechsel unterworfen. Das Thermo-Hygrometer ist vorzug geeignet, jede Aenderung desselben sogleich zu entdecken; es ist aus Grunde ein für das Studium der Witterungskunde höchst wichtiges W geworden.

268. Wir pflegen den Grad der Trockenheit oder der Näs Luft nach dem Grade der Schnelligkeit zu beurtheilen, wo Verdunstung von Statten geht. Wir erhalten aber hierdurch ein Urtheil über die relative Trockenheit. Wenn z. B. nem Thermometerstande von 8° feuchte Körper nur unm verdunsten, Körper von niedrigerer Temperatur sich sogle Thau bedecken, so sagen wir: die Luft sey feucht. Angen das benetzte Thermometer zeige in diesem Falle einen Gr niger als das trockne, so beträgt der Sättigungsgrad der Procent, die wirkliche Feuchtigkeitsmenge (nach Tafel X Milliontheilchen des Raumes. Steigt die Temperatur auf 20 dass mehr Wasser verdunstet, so sinkt der Sättigungsgrad 44 Procent und die Luft bewirkt jetzt die Empfindung von Tr heit, ungeachtet doch ihr wirklicher Feuchtigkeitsgehalt sic geändert hat; sie ist also nur relativ trockner geworden. Um selben Eindruck von Nässe wie früher hervorzubringen, wür Menge des darin aufgelösten Dampfes auf 14,7 Milliontheil anwachsen müssen. Die Atmosphäre enthält in Deutschland in der warmen Jahreszeit nur selten eine so beträchtliche sermenge; man findet sogar, dass der Thaupunct bei uns selte übersteigt. Die Luft erscheint daher im Sommer meistens tr ungeachtet sie in dieser Jahreszeit fast immer mehr dampf ges Wasser aufgenommen hat, als in den nassen Monaten N ber und December.

Die absolute Dampfmenge in der Atmosphäre vermindert wie die Temperatur vom Aequator nach den Polen hin. Gleich hat man den relativen Feuchtigkeitsgehalt, oder den Feuchtig zustand, in verschiedenen Breiten, über dem Meere nur verschieden gefunden. Denkt man sich die ganze, zu gleich in der Atmosphäre befindliche Dampfmenge als tropfbares W so würde die Erdoberfläche höchstens 2 bis 3 Zoll hoch dan deckt werden. Das im Laufe eines Jahres aus der Atmosphä derfallende Wasser kann aber weit mehr betragen. In den

ls z. B. fällt jährlich eine Regenmenge, welche zusammen, den Boden fast 2 Fuss hoch bedecken würde.
·Niederschläge aus der Atmosphäre erfolgen, so oft der
iche Wasserdampf unter seinen Thaupunct abgekühlt
ne gleich starke Abkühlung unter den Thaupunct falso reichlicher, einer je höheren Temperatur derselbe
weil die Dichtigkeit des Dampfes in einem grösseren
als die Temperatur zunimmt. Geht die Abkühlung in
es Bodens vor sich, so entsteht Thau, Reif, Glatteis;
beträchtlicher Höhe über der Erde statt, so fällt Regen,
hlossen. — Wolken und Nebel sind ebenfalls feuchte
ge, bei welchen jedoch das durch Verdichtung des
bildete Wasser noch nicht in Tropfen zusammengeflosdern die Gestalt von Bläschen besitzt, deren überaus
de mit Feuchtigkeit gesättigte Luft umschliessen. Bei
er Abkühlung gehen diese Bläschen in Tropfen über.
aber die Temperatur, wird die Luft wieder trockner,
e in die Form von unsichtbarem Dampfe zurück.

le Körper, ohne Ausnahme, besitzen das Vermögen,
t aufzunehmen, mehr oder weniger, je nach ihrer äushaffenheit und Verwandtschaft zum Wasser. Manche
concentrirte Schwefelsäure, Chlorcalcium, Aetzkalk
gen dasselbe mit solcher Begierde auf, dass man sie
benutzen kann, um die Luft auszutrocknen. Bei der
er Körper gehört diese Einwirkung auf das Wassergas
sse der Adhäsions- oder Absorptions-Erscheinungen
richtet sich daher nach dem Feuchtigkeitszustande der
. In ganz feuchter Luft, gleichgültig bei welcher Temhmen alle derselben ausgesetzte Körper das ihrer be-
hygroscopischen) Beschaffenheit entsprechende Ma-
Wasser auf; sie sättigen sich damit. Entfernt sich der
tszustand der Atmosphäre vom Sättigungspuncte, so
ich die darin befindlichen Körper von ihrem Wasser-
trocknen so lange, bis ihr Absorptionsvermögen mit
sivvermögen des eingesogenen Wassergases wieder
wichte steht. In ganz trockner Luft, ihre Temperatur
ler niedrig, geht nach und nach alles Wasser fort, das
absorbirt hatte. Mittelst Schwefelsäure, und zumal unter
pe, lassen sich daher die Körper vollständig austrock-
Erwärmen wird das Austrocknen nur desshalb beför-
ie relative Trockenheit der Luft dadurch vermehrt wird.
ärme allein, ohne Beihülfe eines trocknen Luftstromes,
edoch die einem Stoffe anhängende Feuchtigkeit nie
austreiben.

er, Holzkohle, Haare, Wolle, Häute und viele andere Stoffe, die
en- oder Thierreiche abstammen, zeichnen sich durch ihr Ver-

mögen, den Wasserdampf zu absorbiren, besonders aus; aber auch Körper der unorganischen Natur, selbst die härtesten Steine, Glas, besonders in Pulvergestalt, können der Luft einen Theil ihrer Feuchtigkeit entziehen und vermehren dadurch ihr Gewicht.

Viele Körper vergrössern durch Aufnahme von Wasser sehr bemerkbar ihren Umfang; z. B. Holz, Fischbein, bei welchen sich die Feuchtigkeit zwischen die Fasern lagert, dehnen sich dadurch senkrecht gegen die Richtung der Fasern aus; Seile verkürzen sich, indem sie im Sinne der Breite anschwellen; Haare werden länger. Diese Eigenschaft verschiedener Stoffe ist häufig als ein Mittel benutzt worden, den Feuchtigkeitszustand der Luft zu messen. Insbesondere hatte das von Saussure erfundene, später von Gay-Lüssac gradirte Haar-Hygrometer sich einen grossen Ruf erworben. Da jedoch die Längenveränderungen des Haars im Laufe der Zeit nicht gleich und folglich die Anzeigen dieses Instrumentes nicht verlässig bleiben, so ist dasselbe durch das Thermo-Hygrometer verdrängt worden.

VIII. Von den magnetischen und electrischen Kräften.

Erscheinungen und Gesetze der magnetischen Anziehung und Abstossung.

270. Gewisse Körper besitzen die merkwürdige Eigenschaft, metallisches Eisen anzuziehen und mit einer Kraft festzuhalten, die häufig um vielmal grösser ist, als ihr eigenes Gewicht. Man nennt sie Magnete, und die Eigenschaft, wodurch sie sich auszeichnen, Magnetismus.

Der Magnetismus ist zuerst an einigen Eisenerzen bei ihrem natürlichen Vorkommen, insbesondere an der unter dem Namen Magnet-Eisenstein (Eisenoxyduloxyd) bekannten, niederen Oxydationsstufe des Eisens beobachtet worden. Später entdeckte man, dass auch metallisches Eisen, ferner dass Nickel und Kobalt diese Eigenschaft annehmen können. Bei keinem andern Körper hat sie bis jetzt als ein bleibender Zustand mit Sicherheit nachgewiesen werden können; ungeachtet es sehr viele gibt, die in gewissen Fällen, wiewohl nur vorübergehend, sich ähnlich wie die Magnete verhalten.

Das magnetische Eisenerz war schon den Alten wohl bekannt und soll in der Nähe der Stadt Magnesia, in Lydien, entdeckt worden seyn. Magnetische Wirkungen hat man auch hier und da an manchen Felsarten und einzelnen Felsblöcken, namentlich an Graniten und Basalten, wahrgenommen, fand aber dann bei näherer Untersuchung immer, dass sie Eisen auf einer niedrigen Oxydationsstufe eingesprengt enthalten. Wenn man an Metallen, mit Ausnahme der erwähnten, Spuren magnetischer Anziehung bemerkt, wie diess z. B. bei Kupfer und Messing nicht selten vorkommt, so darf man stets mit Sicherheit auf einen Gehalt an Eisen oder Nickel schliessen.

271. Das geschmiedete Eisen ist gewöhnlich nicht von selbst magnetisch, aber es gewinnt diese Eigenschaft bei der blossen Berührung mit einem Magnete und zieht dann, so lange die Berührung fortdauert, andere Eisenstücke fast eben so stark an, wie der Magnet selbst. Von dem letzteren wieder getrennt, verliert es

lie ihm mitgetheilte Kraft, entweder ganz oder doch gröss-
s. Eisen, welches Schwefel, Phosphor oder Kohle, wenn auch
geringen Mengen enthält, nimmt die magnetische Kraft
willig an, als das reinere Schmiede-Eisen, behält aber dann
ertheilten Magnetismus dauernder.
ch seine Eigenschaft, bleibenden Magnetismus annehmen
nen, zeichnet sich vor allen andern Körpern der gehärtete
ius. Die meisten Magnete, die man gebraucht, werden daher
hl verfertigt. Man nennt sie zuweilen künstliche Magnete,
von den natürlich vorkommenden zu unterscheiden. Der
im bessten Gussstahl, nachdem er eine zweckdienliche Ge-
halten, wird gehärtet, indem man ihn aus der Roth-Glühe
möglichst gleichzeitig an allen Puncten, am besten durch
elschicht, in kaltes Wasser senkt und darin erkalten lässt.
Streichen mit einem Magnete wird er dann magnetisch ge-
oder wie man sich ausdrückt, magnetisirt. Ist man schon
itze eines kräftigen Magnets, so ist mehrmaliges stetig fort-
tes Streichen von einem zum andern Ende und über beide
eines dünnen Stahlstreifens gewöhnlich hinreichend, um
viel Magnetismus beizubringen, als er überhaupt dauernd
alten kann. Das Streichen muss jedoch immer in derselben
ing und mit demselben Ende des Magnets geschehen.
2. Man kann mit einem und demselben Magnete eine noch
sse Anzahl Stahlstäbe magnetisch machen, ohne dass er
h von seiner Stärke merklich verliert. Man muss hieraus
sen, dass die Ursache der magnetischen Thätigkeit im Stahl,
en und überhaupt in den Körpern, welche die Fähigkeit be-
magnetisch werden zu können, ursprünglich vorhanden ist
rch die Nähe eines wirksamen Magnets nicht mitgetheilt,
n nur entwickelt oder zur freien Wirksamkeit gebracht wird.
. Der Widerstand, den unreines Eisen, insbesondere der
te Stahl, der Entwicklung des Magnetismus in seiner eig-
sse entgegensetzt, und der andererseits das Verschwinden
mal hervorgebrachten Magnetismus erschwert, wird (worin
h das Wesen dieses Widerstandes bestehen mag) mit dem
Coërcitivkraft bezeichnet. Das weiche oder geschmie-
en besitzt keine, oder doch nur eine sehr geringe Coër-
ft, und kann daher nicht bleibend magnetisch werden.
. Die anziehende Kraft der Magnete auf Eisen, Kobalt und
zeigt sich nicht bloss bei der Berührung; sie wirkt auch,
l mit abnehmender Stärke, in die Ferne und nach jeder
g. Durch die meisten Körper, sogar durch den leeren Raum,
sie sich bei ungeändertem Abstande mit ungeschwächter
fort. Der Umkreis, innerhalb dessen die Kraft eines Mag-
merkbar bleibt, nennt man seinen Wirkungskreis (Wir-
sphäre).

Kleine Stücke Eisen, wie Abfälle von Draht, Nähnadeln, Feilspäne bewegen sich gegen einen Magneten mit beschleunigter Geschwindigkeit und hängen sich daran fest. Legt man ein dünnes Brett oder ein Stück steifes Papier auf Eisenfeile und nähert dann den Magnet, so wird der dazwischen liegende Stoff sammt den Feilspänen gehoben und festgehalten. Auch grössere Stücke Eisen, wenn sie leicht beweglich sind, werden schon aus der Entfernung angezogen. Man hänge einen Stab von recht reinem Schmiede-Eisen in seinem Schwerpuncte so auf, dass er um diesen Punct herum in jeder Richtung leicht beweglich ist. Man nähere sodann einen Magnet, so wird sich das eine oder andere Ende des Stabs, welches gerade das zunächst liegende ist, gegen den anziehenden Körper bewegen und allen seinen Bewegungen folgen. Diese Erscheinung wird in gleicher Weise eintreten, wenn man den Eisenstab hinter einem Schirme aufhängt oder unter eine Glasglocke bringt und aus dieser die Luft entfernt.

275. Die Kraft, womit Magnete das Eisen anziehen, ist an gewissen Stellen ihrer Oberfläche auffallend grösser, als an anderen. Man bemerkt an jedem Magnete wenigstens zwei solcher Hauptpuncte magnetischer Anziehung. Zuweilen finden sich deren mehrere. Man nennt sie die **Pole**.

Die Pole sind leicht zu entdecken. Eisenfeile häuft sich an denselben, ... einem dichten, borstigen Barte; auch tragen sie schwerere Eisenstücke, ... dere Stellen. Ihre Lage lässt sich am anschaulichsten machen, wenn ... einem Glasstreifen von der Länge des Magnetstabes Eisenfeile mittelst ... Siebs gleichförmig ausbreitet, dann den Magnet damit bedeckt und ... mässig anstösst. Die Feilspäne ordnen sich dadurch in Strahlen, die ... zweien Polen nach allen Richtungen ausgehend, sich gegen einander biegen ... zum Theile so in einander verlaufen, dass dadurch geschlossene Curven ... stehen.

Bei den natürlichen Magneten pflegt man die verschiedenen Stellen, ... als die wirksamsten ausweisen, zu ebnen und mit Schienen von Schmiede... zu belegen, die dann in zwei dickere hervorragende Enden auslaufen. An ... muss sich also wegen der bekannten Eigenschaft des weichen Eisens die Wirksamkeit des Magnets sammeln. Man verbindet beide Enden mit einem ... stücke, ebenfalls von weichem Eisen, dem **Anker**, woran die Gewichte, ... der Magnet tragen soll, angehängt werden. Ein so ausgerüsteter natü... Magnet heisst bewaffnet (armirt). Man findet zuweilen natürliche Magnete ... sehr bedeutender Tragkraft, die insbesondere bei kleinen Exemplaren ... das Hundertfache ihres eigenen Gewichtes übersteigt. Einer der kräftigsten ... kannten natürlichen Magnete ist der, womit **Dalla Bella** in Lissabon V... über das Gesetz der magnetischen Anziehung und Abstossung anstellte. ... $38\frac{1}{2}$ Pfund und war im Stande, 202 Pfund zu tragen. (Pogg. Ann. B. 15, ...

276. Die meisten Magnetstäbe haben nur zwei Pole ... den Enden (daher der Name Pole). Die stärkste magnetische ... ziehung zeigt sich übrigens niemals an den äussersten Enden. Man bemerkt, dass das schwerste Stück Eisen in einer Entfernung von 4 — 5 Linien vom Ende getragen wird. Weiter nach der ... hin nimmt dann das Tragungsvermögen rasch ab. Ungefähr in ... Mitte ist eine Stelle, die gar keine magnetischen Wirkungen ... sert. Eine gerade Linie, welche die beiden Pole eines Magnets verbindet, heisst seine **Axe**; eine Ebne winkelrecht gegen ... magnetische Axe durch die wirkungslose Stelle gelegt, heisst ... **neutrale Ebne** oder auch der **Aequator** des Magnets.

277. Eine magnetische Stahlnadel und im Allgemeinen jeder Magnetstab mit zwei Polen, der um einen festen Punct oder ...

xe herum freie Beweglichkeit besitzt, wird **Magnet**-nnt.

adeln, sich selbst überlassen, nehmen stets eine be-ıtung an, in welche sie, wenn man sie daraus entfernt, ;eihe von Schwingungen wieder zurückkehren.

t schwingende Magnetnadeln richten sich ungefähr nach Süden. Ihr nach Norden gerichtetes Ende pflegt ren **Nordpol**, das nach Süden gerichtete ihren **Süd**-en.

e, welche man sich durch beide Pole der ruhenden ıgleich durch den Mittelpunct der Erde gelegt denkt, **agnetische Meridian** des Ortes, wo sich die Nadel

ıetische Meridian eines Ortes fällt mit seinem geogra-ɔridiane gewöhnlich nicht zusammen. Der Winkel, le bilden, heisst die **Deklination**. Sie hat sich an ein en Orte zu verschiedenen Zeiten nicht immer gleich eutschland ist sie gegenwärtig ungefähr 20° westlich.

t schwingende Magnetnadeln, die man eigends dazu ım den magnetischen Meridian eines Ortes, so wie die ;u ermitteln und welche zu dem Ende mit einem ge-ıe versehen sind, werden **Deklinations-Boussolen** s **s e** genannt. Ihre wichtige Anwendung bei der Schiff-ınnt.

ın man irgend einen der Pole eines kräftigen Magnets adel von der Seite nähert, so entfernt sie sich aus ; magnetischen Meridians, indem sie den einen ihrer näherten des Magnets zuwendet. Nach einer Reihe ;ungen erhält sie (bei unveränderter Lage des Mag- eine neue Gleichgewichtslage, in die sie, daraus ent- wieder zurückkehrt.

er Aehnlichkeit dieses Verhaltens mit dem der sich ssenen Magnetnadel erklärt man das Bestreben der h von Norden nach Süden zu richten, durch die An- die Erde selbst ein Magnet sey, dessen einer Pol in ıd dessen anderer Pol in südlicher Richtung liegt. Der Meridian eines Ortes bezeichnet genauer die Rich- lcher sich die magnetische Erdanziehung daselbst

l der eine Pol einer Magnetnadel dem entgegengesetzt iner anderen Magnetnadel, nämlich das nördliche Ende n südlichen der andern genähert, so ziehen sie ein- gegen die gleichgerichteten Pole stossen sich ab.

etpole sind also nicht nur der Lage nach, sondern auch ırer Wirkungen einander entgegengesetzt. Um diesen ɔstimmter zu bezeichnen, hat man dem Nordpole der

Nadel, so wie dem gleichartigen, nämlich dem abstossenden
jeden andern Magnets, den Namen des positiven (+) Pols,
Südpole den Namen des negativen (—) Pols beigelegt.

Den Gegensatz selbst in den Wirkungen beider Pole nenn
magnetische Polarität. Ein Magnetstab, der diesen Gege
äussert, z. B. die Nadel, die sich von Norden nach Süden ri
ist magnetisch-polarisch.

Magnete können zwar mehr als zwei Pole haben, aber
Verhalten nach können diese nur von zweierlei Art seyn, nä
positive oder negative Pole, und immer findet man darunte
nigstens einen positiven und einen negativen.

280. Eine kleine Magnetnadel über der Mitte eines starken
netstabes aufgehängt (Fig
nimmt eine mit der Richtun
Pole des letzteren gleichla
Lage an, doch so, dass ihr
sich dem — Pole des Stabs,
Pol sich dem + Pole des
zuwendet. In diese Lage ke

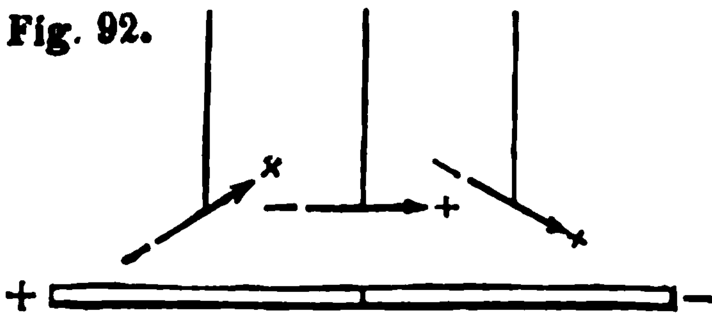


Fig. 92.

Nadel, so oft man sie daraus entfernen mag, nach einer Rei
Schwingungen stets zurück. Rückt man ihren Aufhängepu
der Mittellinie gegen das eine oder andere Ende des Stabs
senkt sich ihre gegen dieses Ende gerichtete Spitze. Kön
Aufhängepunct senkrecht über einen der Pole zu stehen, so
auch die Nadel eine senkrechte Stellung an, dergestalt, da
ungleichnamiger Pol sich dem des Stabes so weit wie m
nähert.

Ein ähnliches Verhalten zeigen die Magnetnadeln über de
fläche der Erde, wenn sie im Schwerpuncte ihrer Masse fi
gehängt sind. An gewissen Stellen, in der Nähe des Erdäq
behaupten sie eine wagerechte Lage. Diese Stellen bilden e
regelmässige, übrigens geschlossene krumme Linie rings
Erde. Man nennt sie den magnetischen Erdäquator. N
von dieser Linie senkt sich der positive Pol, südlich der ne
Pol der Nadel. Z. B. in Deutschland und unter dem 50sten
grad beträgt die Senkung des + Pols etwa 68 Grade. Ne
trächtlicher wird die Senkung, wenn die Nadel weiter nach
getragen wird, und nach den Beobachtungen des Capitän
stellt sie sich unter dem 70° 5′ nördlicher Breite und 96° 45
licher Länge von Greenwich fast senkrecht. Ein ähnlicher
an welchem sich die Nadel in umgekehrtem Sinne, nämlich
Pol nach unten, lothrecht stellt, findet sich im südlichen Polar
Die Erde besitzt also einen magnetischen Nordpol und
magnetischen Südpol; der erstere liegt westlich vom g
phischen Nordpole, der andere östlich vom geographische
pole. Es ist einleuchtend, dass der Nordpol der Nadel mit de

tischen Nordpole der Erde nicht gleichnamig seyn kann. Die Bezeichnungen: positiver Pol und negativer Pol sind daher, weil sie Missverständnisse verhüten, bei den Magnetnadeln den Ausdrücken Nord- und Südpol vorzuziehen.

281. Aus dem Vorhergehenden ist ersichtlich, dass Stahlnadeln, welche in ihrem Schwerpuncte gestützt und um diesen Punct nach jeder Richtung frei beweglich sind, sobald sie magnetisirt werden, auf der nach Norden gerichteten Hälfte ein Uebergewicht erhalten. Nadeln, die genau in der wagerechten Ebne schwingen sollen (Deklinationsnadeln), müssen daher auf dem südlichen Ende beschwert werden, mehr oder weniger, je nach der magnetischen Breite eines Ortes.

Um die Senkung oder die Inklination der Magnetnadel an einem Orte zu bestimmen, hat man besondere Werkzeuge, welche Inklinations-Boussolen genannt werden. Sie bestehen im Wesentlichen aus einem getheilten, lothrecht gestellten Kreise, in dessen Mittelpunct eine feine Magnetnadel auf wagerechter Axe ruht, so dass sie nur in der Ebne des lothrecht stehenden Kreises schwingen kann. Um den letzteren gleichlaufend mit dem magnetischen Meridian stellen zu können, dient eine zweite in wagerechter Ebne schwingende Nadel.

282. Die Magnetnadel ist eine Pendel, das magnetischen Einwirkungen folgt, ähnlich wie das Schwerependel der Schwerkraft. Die magnetische Axe der Nadel während ihrer Ruhelage zeigt die Richtung der darauf einwirkenden magnetischen Kraft. Entfernt man die Nadel aus der Gleichgewichtslage, so lässt sich diese Kraft immer in zwei Kräfte zerfällen: eine, die, was immer die Lage der Nadel sey, in die Richtung ihrer magnetischen Axe fällt, die andere winkelrecht auf diese Richtung. Die erstere bewirkt keine Bewegung, die andere ist die Ursache der Schwingungen.

Ist eine Magnetnadel der gleichzeitigen Einwirkung von zwei Magneten ausgesetzt, so erkennt man aus ihrer Ruhelage die Richtung der Resultirenden beider Kräfte. Ein Magnetstab *NS* (Fig. 93) werde z. B. so auf den Tisch gelegt, dass seine verlängerte Richtung den magnetischen Meridian *mm'* einer kleinen Boussole im Mittelpunct der Nadel rechtwinklich durchschnei-

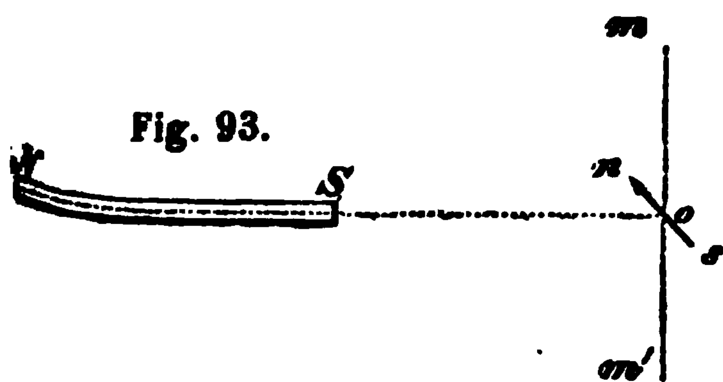


Fig. 93.

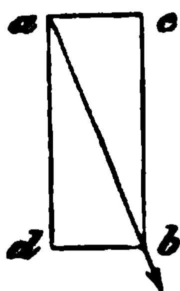
det. Die letztere, zur Ruhe gekommen, bildet nunmehr mit ihrem Meridiane einen Winkel *nom*, aus welchem, nach dem Gesetze des Parallelogramms der Kräfte, die Grösse der Einwirkung des Stabs verhältnissmässig zur Stärke der magnetischen Erdanziehung bestimmt werden kann. Betrüge der Ablenkungswinkel z. B. 45°, so würden beide Kräfte einander gleich seyn. Diese Einwir-

kung' eines Magnetstabs auf die Nadel ändert sicl der Grösse des Abstandes (274).

Erhält der Magnetstab *NS* eine solche Stellur magnetische Axe mit der Linie *mm'* zusammenfä nach der Lage seiner Pole, die Wirksamkeit des Ei auf die Nadel der Boussole verstärkt, oder auch ge erstere erkennt man aus der schnelleren, das letzter sameren Bewegung der schwingenden Nadel (148). auf zu schwingen, d. h. sie lässt sich in jeder Stel bringen, wenn die Einwirkung des Magnets derjei magnetismus gleich und entgegengesetzt ist. Di theoretisch leicht vorherzusehen, erfordert für die Darstellung eine sehr kleine Magnetnadel und ein von so bedeutender Stärke, dass er schon aus der I mehreren Fussen eine dem Erdmagnetismus gleich vorbringen kann; oder mit andern Worten, das Ve so gewählt seyn, dass durch eine Veränderung in Nadel die Abstände ihrer Pole vom Magnetstabe n dend wenig geändert werden können.

Die eigentliche Richtung der magnetischen Erd kennt man aus der Ruhelage der Inklinationsnadel. I die in dieser Richtung wirkende Kraft *a* die horizontale Seitenkraft *ac* und in d zerlegt. Auf die Schwingungen der Del kann nur *ac* wirken, indem die Kraft *ad* i der Stütze verloren geht. — Lässt ma Magnetnadel in einer lothrechten Ebr welche diejenige des magnetischen Mei recht durchschneidet, so geht die Seite loren und *ad* bedingt die Bewegungen der Nadel. D lich in ihrer Gleichgewichtslage eine lothrechte Stellu Ueber den magnetischen Erdpolen äussert sich die g des Erdmagnetismus in der senkrechten Richtung. D nadel strebt daher über den Polen sich senkrecht zu rend die Deklinationsnadel richtungslos oder ast

Fig. 94.



Eine Magnetnadel, deren Aufhängepunct in de Axe eines geraden Magnetstabs liegt und deren ebne diese Axe rechtwinklig durchschneidet, verhä wie die Deklinationsnadel über dem magnetischen I ebenfalls richtungslos beziehungsweise auf die Einv Magnets.

Man kann die Magnetnadel an einem jeden Orte g fluss des Erdmagnetismus astatisch machen, wenn m in einer Ebne zu schwingen, die auf der Richtung winkelrecht steht. In Deutschland z. B. wird eine astatisch, wenn die Ebne, in der sie sich frei bewe

ischen Meridian des Ortes rechtwinklig durchkreuzt und
ı Horizonte einen Winkel von ungefähr 22° bildet. Ein Ap-
orzugsweise geeignet, das Verhalten der Magnetnadel in
erschiedenen Lagen unter der Einwirkung des Erdmagne-
zu prüfen, ist Schmidt's sogenannte astatische Nadel
's Ann. B. 70, S. 243.) Aus der Zeichnung Pl. III. Fig. 2
ın den Gebrauch dieses Apparats ohne weitere Erklärung
en.

Die Geschwindigkeit einer freischwingenden Magnetnadel
b von der Grösse ihres Trägheitsmomentes (Seite 73) und
tischen Momente der vorhandenen magnetischen Kräfte;
ringt unter sonst gleichen Umständen schneller oder lang-
e nachdem sie selbst mehr oder weniger stark magnetisirt
ist. Ihre Schwingungen werden beschleunigt, wenn die
ies andern Magnets sich zu derjenigen des Erdmagnetis-
irt; diese Beschleunigung ist um so bedeutender, je ge-
ie Entfernung des andern Magnets ist.
ie Magnetnadel nichts anders ist, als ein Pendel, das unter
flusse magnetischer Kräfte schwingt, so müssen die Qua-
rer Schwingungszeiten der jedesmaligen Intensität oder
magnetischer Einwirkungen verkehrt proportional seyn
oder, was dasselbe sagt, diese Intensität steht im geraden
nisse zum Quadrate der Anzahl Schwingungen, die in einer
ten Zeit, z. B. in einer Minute, vollendet werden.
nerkt man daher, wie viele Schwingungen eine Magnetnadel
em Einflusse des Erdmagnetismus allein gemacht hat, und
ann die Schwingungen, welche dieselbe Nadel in einer glei-
eit unter dem gleichzeitigen und in gleicher Richtung thä-
Einflusse eines Magnetstabs vollendet, so müssen sich die
ate dieser Zahlen wie die magnetischen Einwirkungen in
n Fällen verhalten. Die erste dieser Wirkungen von der zwei-
bgezogen, erhält man folglich ein Mass für die Stärke der
irkung des Magnetstabs auf die Nadel.
urch Versuche auf diesem Wege hat man gefunden, dass das
lten der Magnetnadel unter der Einwirkung magnetischer
ganz denselben Gesetzen unterliegt, wie das Verhalten des
erependels unter dem Einflusse der Schwerkraft. D. h. die
ke der magnetischen Anziehung oder Abstossung
t im zusammengesetzten Verhältnisse der einander
ehenden oder abstossenden magnetischen Kräfte,
im verkehrten Verhältnisse des Quadrates der Ent-
ung ihrer Angriffspuncte.

f das Stattfinden dieses Gesetzes hatte man schon aus theoretischen Grün-
schlossen, lange bevor Coulomb ziemlich sichere experimentelle Be-
für die Richtigkeit desselben geliefert hat. Coulomb brachte einen mag-
ten Stahldraht von zwei Linien Durchmesser und 25 Zoll Länge in den
n einer sehr kleinen Magnetnadel lothrecht, und so, dass eines seiner

Fig. 95. Pole in gleiche Höhe mit der Nadel zu liegen kam. Be
ordnung (Fig. 95) konnte die Einwirkung des andern
theils wegen des grossen Abstandes, theils wegen der sc
tung, als verschwindend gering, unbeachtet bleiben, u
als Angriffspunct aller vom Magnetstabe auf die Nade
Kräfte gelten. Die letztere war an einem einzigen Coc
gehängt und nur 12 Linien lang, also so kurz, dass b
Abstande des lothrechten Stahldrahts die Einwirkung
auf beide Pole der Nadel, ungeachtet des ungleichen Ab
selben, hinsichtlich ihrer absoluten Stärke keine me
schiedenheit zeigen konnte. Der Mittelpunct der Nadel
als gemeinschaftlicher Angriffspunct der in ihr thäti
schen Kräfte genommen werden.

S

N

Diese Nadel, allein unter dem Einflusse des Erd
machte 15 Schwingungen in der Minute.

Unter der gleichzeitigen Einwirkung des magnetischen Stahldra
Abstandes von 4 Zoll vom Mittelpuncte der Nadel wurden in ein
Schwingungen vollendet. Betrug der Abstand 8 Zoll, so war die Zahl
gungen 24.

Setzt man nun die Intensität der magnetischen Einwirkung de
des Magnets, bei dem ersten Versuche M, bei dem zweiten M', so is

$$15^2 : 41^2 = m : (m + M), \text{ folglich } M = 6{,}47\ m$$
$$15^2 : 24^2 = m : (m + M'), \text{ folglich } M' = 1{,}56\ m.$$

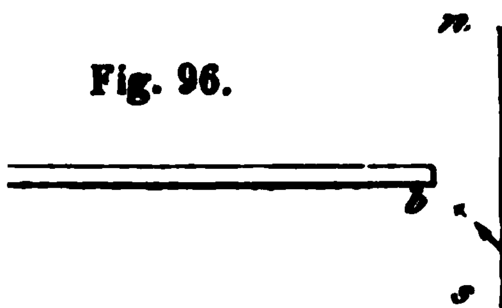
Die Zahl 1,56 ist nahe der vierte Theil von 6,47. Die Intensitä
kung des Magnetpols zeigte sich also für den doppelten Abstand au
Theil vermindert. Bei grösserem Abstande, als 8 Zoll, nahm die Stä
netischen Einflusses in einem grösseren Verhältnisse ab, als dem q
der Entfernung, weil mit dem zunehmenden Abstande die entgegen
des zweiten Pols verhältnissmässig einen mehr und mehr zunehme
gewann, der endlich als messbare Grösse sich geltend machte.

Zu ähnlichen Resultaten gelangte Coulomb durch Versuche
ihm erfundenen Drehwage (Biot, traité de phys. T. 3, p. 63). Sie ze
gleich den vorhergehenden, nur innerhalb sehr enger Gränzen di
des Gesetzes.

Aus der Grösse der Ablenkung, welche die Magnetnadel unter
kung eines Magnetstabs erfährt, der in verschiedenen Entfern
winklig gegen ihren Meridian gestellt wird, entweder wie in Fig.
dass die Mittellinie des Stabs in die Ebne des Meridians fällt, ha
allgemein den Beweis geführt, dass die wechselseitige Einwirkung
Elemente im verkehrten Verhältnisse des Quadrates ihrer Entfernu

284. Alles Eisen, auch wenn es wie das Schmiede-
selbst magnetisch zu seyn scheint, wirkt auf die Ma
Aber das Schmiede-Eisen wirkt auf beide Pole derselben
Weise, nämlich anziehend. Der Grund ist, weil das Eis
Berührung, ja schon bei der Annäherung eines Magn
magnetische Polarität annimmt, in der Weise, dass an d
Ende, welches einem Pole des Magnets zugekehrt ist, ei
namiger Pol, an dem entgegengesetzten Ende ein gleichn
entsteht. Diese Polarität besteht aber nur unter dem Ei
wirksamen Magnets; durch Umkehrung desselben wird s
ebenfalls umgekehrt und verschwindet, wenn er entfer

Eine Stange von Schmiede-Eisen von zwei bis drei Fuss Länge we
rechter Lage so gerichtet, dass sie mit dem magnetischen Meridi
rechten Winkel bildet. Man rücke sodann gegen das eine Ende den



Pol einer kleinen Magnetnadel, gegen das andere Ende den — Pol einer zweiten. Beide werden von dem Eisen angezogen und dadurch schon aus einiger Entfernung aus ihren Ruhelagen abgelenkt werden. Nähert man hierauf allmählig von oben her dem Puncte *a* der Stange den positiven Pol, oder dem Puncte *b* den negativen ftigen Magnets, so findet man, dass bei einem gewissen Abstande de Nadeln von den benachbarten Enden der Stange abgestossen /erhalten, welches beweist, dass bei *a* ein negativer Pol und zuin positiver Pol entstanden ist. Nach Entfernung des Magnetpols ı beide Nadeln wieder gegen den Eisenstab, um bei abermaliger 'on Neuem abgestossen zu werden. Stellt man hierauf den Versuch ı, d. h., bringt man über den Punct *a* den negativen Pol eines starso bemerkt man keine Abstossung der Nadeln, sie werden vielmehr vorher angezogen; bei *a* muss sich folglich in diesem Falle ein + — Pol gebildet haben. Man hat es also ganz in seiner Gewalt, das polarisch zu machen und diese Polarität, so oft man will, zu ver:hiedene Magnete von ungleichem Tragungsvermögen unterscheiden Beziehung auf die Art, sondern nur hinsichtlich der Stärke ihrer . Man begreift daher, dass Eisen sich nicht in der Umgebung einer befinden kann, ohne nicht selbst einen geringen Grad magnetischer .unehmen, dass z. B. bei *b* (Fig. 96) unter dem Einflusse des nahen Nadel ein — Pol entstehen musste.

ig ist das Schmiede-Eisen unrein; die demselben ertheilte Polarität : dann nicht sogleich nach Entfernung des äusseren magnetischen ı lange sie sich erhält, werden die Pole einer Magnetnadel nicht n beiden Enden der Eisenstange angezogen.

Stahlstangen wirken auf eine kleine Magnetnadel gewöhnlich nur ie bereits magnetisch sind, oder fast bis zur Berührung genähert Grund ist, weil ihre Coërcitivkraft bei der Annäherung eines Magıger Stärke nicht sogleich überwunden wird. Aus demselben Grunde, die Coërcitivkraft die Entwickelung der magnetischen Polarität ird gehärteter Stahl auch von kräftigen Magneten nicht mit gleikeit und Stärke, als das weiche Eisen, angezogen.

etische Polarität des Eisens entwickelt sich schon unter dem Einmagnetismus. Eine Stange von Schmied-Eisen verhält sich nur dann ıetisch, wenn sie mit der Richtung der magnetischen Erdanziehung Winkel bildet. In jeder anderen Lage bildet sich an dem am meiı oder am tiefsten nach unten stehenden Ende ein + Pol, am ann — Pol. Diese Polarität wird am vollständigsten entwickelt, wenn ge mit der ruhenden Inklinationsnadel gleichlaufend richtet.

Stahlstangen, der Einwirkung des Erdmagnetismus ausgesetzt, zei'öhnlich nicht sogleich polarisch; wird aber eine Stahlstange in tellung, oder auch während sie von Norden nach Süden gerichtet rt, etwa durch Hammerschläge, so gewinnt sie allmählig einen berad bleibender magnetischer Polarität. Hieraus erklärt sich, warum ıge so häufig magnetisch sind.

rei Magnetstäbe von gleicher Grösse und ungefähr glei-ɔ, mit ihren gleichnamigen Polen zusammengelegt, trais Doppelte von dem, was jeder einzelne tragen kann, also gleichsam einen einzigen Magneten von verstärkıehnliches gilt von mehreren mit ihren gleichnamigen ındenen Magneten. Die kräftigsten Magnete bestehen

gewöhnlich aus 3 bis 5, selten aus einer grösseren Anzahl verbunde-ner Magnetstäbe, wovon jeder zuvor so stark wie möglich magne-tisirt worden war. Eine solche Zusammensetzung wird ein mag-netisches Magazin genannt.

286. Wenn man einem Stücke Eisen die gleichnamigen Pole zweier ungefähr gleich starken Magnete von entgegengesetzten Seiten nähert (Fig. 97), so bleibt es unmagnetisch und wird gar nicht angezogen, weil der eine Magnet die von dem andern im weichen Eisen hervorgerufene Polarität wieder aufhebt. Dasselbe findet statt, wenn dem Eisen von einer und derselben Seite her gleichzeitig der + Pol des einen, aber — Pol des andern Magnets dargeboten wird. Hatte sich das Eisen zuvor an dem einen Magnet z. B. an seinem + Pole angehängt, so fällt es bei der Annäherung des — Poles des andern wieder

Fig. 97.





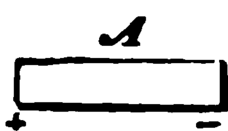
Das in der Umgebung eines Magnets befindliche Eisen ist den Einwirkungen seiner beiden Pole ausgesetzt. Wenn sich gleichwohl nicht wechselseitig aufheben, so kann der Grund in einer Ungleichheit des Abstandes liegen. Einleuchtend ist es dass der in irgend einem Puncte sichtbare magnetische Effect nichts anders seyn kann, als der Unterschied der Wirkungen welche von beiden Polen aus in diesem Puncte hervorgebracht werden. Es geht hieraus hervor, dass die Magnete bei gleicher Tragkraft eine um so grössere Wirkung in der Ferne äussern, je weiter ihre Pole aus einander liegen.

Z. B. Magnete, die hufeisenförmig gebogen sind, besitzen im Vergleich mit geraden Magnetstäben von derselben Stärke eine sehr geringe Wirksamkeit in die Ferne.

287. Werden zwei Magnete von ungleicher Stärke *A*, und *B* (Fig. 98) mit gleichgerichteten Polen der genähert, so muss bei einem gewissen Abstande der Wirkungskreis des einen z. B. des — Pols des schwächeren Magnets in den Wirkungskreis des + Pols von *A* ganz hineinfallen. So lange beide Magnete in dieser Lage verharren, scheint der — Pol von *B* sein Tragungsvermögen sowie seine Wirksamkeit in die Ferne verloren zu haben. Man sagt dann: die in diesem Pole vorhandene magnetische Kraft ist gebunden. Besitzt der eine Magnetpol über den ungleichnamigen eines andern Magnets nicht das Uebergewicht, so kann die Kraft des letzteren nicht vollständig gebunden werden, weil sein Wirkungskreis nur theilweise in den des andern fallen kann.

Fig. 98.





Die freie Wirksamkeit des + Pols von *B* vermehrt sich durch die Bindung der magnetischen Kraft seines — Pols, gerade so, als habe sich dieser letztere in einen + Pol von genau gleicher absoluter Stärke verwandelt. Dagegen die freie Wirksamkeit d

n *A* nimmt ab, oder seine magnetische Kraft tritt theilweise in den gebundenen Zustand. Besitzen die beiden einander ten Pole von *A* und *B* gleiche Stärke, und denkt man sie erührung zusammengerückt, so decken sich ihre Wiren wechselseitig. In diesem Falle muss also eine vollwechselseitige Bindung eintreten.

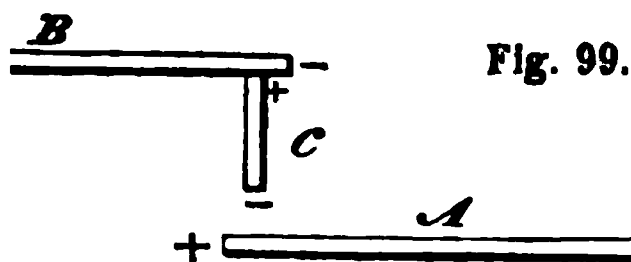


Fig. 99.

Beispiel: Ein Stück Eisen *C* (Fig. 99), das von einem Pole des Magnets *B* eben noch getragen wird, fällt ab, sobald der ungleichnamige Pol eines anderen Magnets von Oben oder von der Seite genähert wird (286). Bietet man dagegen dienamigen Pol dem Eisen von unten dar, so wird es mit verstärkter zogen; wurde es vorher nicht getragen, so kann es jetzt festgehalten enn der + Pol des Stabes *A* (Fig. 99) bindet die magnetische Kraft chen Eisen unter dem Einflusse von *B* erzeugten — Pols und vermehrt e freie Wirksamkeit des + Pols von *C*. — Ist *A* ein weit stärkerer *B* und der Abstand so gering, dass der Wirkungskreis des — Pols dem des + Pols von *A* grösstentheils umschlossen wird, so fällt das Magnete *B* selbst dann ab, wenn sich der + Pol von *A* (wie in der nter befindet.

Bei den hufeisenförmigen Magnetstäben, deren Pole durch ein Stück weiches Eisen, durch den sogenannten Anker, verbunden sind, wirkt jeder Pol verstärkend auf die Kraft, womit der andere von dem Eisen angezogen wird. Diese Form der Magnete eignet sich daher vorzugsweise, um ein grosses Tragungsvermögen zu erzielen. Ein Anker von hinlänglichem Umfange, so lange er mit beiden Polen in Berührung steht, vertritt die Stelle eines zweiten Magnets von nahe gleicher Kraft, welcher mit dem ursprünglichen mit verkehrten Polen verbunden ist. Hufeisenmagnete mit angelegtem Anker besitzen daher eine äusserst geringe Wirksamkeit in die Ferne. Die ft eines Magnets kann jedoch durch den Anker niemals gebunden eil dies voraussetzte, dass die Wirkungskreise beider Pole des Magdenen der ungleichnamigen Pole des Ankers ganz zusammenfielen, ei Mittelpuncte besässen, was doch unmöglich ist.

Wenn ein Pol des Magnets *A* (Fig. 98) dem ungleichnas schwächeren Magnets *B* näher kommt, als erforderlich lie in dem letzteren vorhandne freie magnetische Kraft n, so erfolgt eine Zunahme in der Entwicklung der von *B*. Die im ungleichnamigen Pole neu entwickelte d gleich der früher vorhandnen gebunden, die im gleich-Pole neu entstandene gelangt zur freien Wirksamkeit. raft eines Magnets wird also durch Anreihen eines mit gleichgerichteten Polen immer verstärkt. Die hiervonnene Kraftvermehrung kann aber nie die Summe der der Magnete erreichen.

o lange, als Stahlstangen noch nicht bis zu dem Grade h sind, der ihrer Coërcitivkraft entspricht, kann diese einer Entwicklung ihrer Polarität Widerstand leisten. Ist aber st bis zur Gränze seiner Coërcitivkraft polarisch gewor-

den, ist er mit Magnetismus **gesättigt**, so verhält
dem Einflusse stärkerer Magnete ähnlich wie das Sch
D. h. er kann alsdann mit Leichtigkeit eine stärkere
nehmen, verliert sie aber auch eben so leicht wieder.
Stahlstangen, die mehr Magnetismus angenommen h
durch ihre Coërcitivkraft allein behaupten können,
übersättigte Magnete.

Hufeisenmagnete mit anhaftendem Anker können sehr lei
werden. Durch den Einfluss des Ankers tritt nämlich der grös
einem Magnete entwickelten Kraft in den gebundenen Zustand.
setztes Streichen mittelst eines zweiten Magnets von genügend
sich daher die Kraft beider Pole des ersteren so lange steigern,
gewicht der nicht gebundenen magnetischen Kraft derjenigen gl
der Magnet zu Folge seiner Coërcitivkraft allein, also ohne
Ankers, bleibend erhalten kann. Reisst man den Anker mit Gew
schwindet aller über den Sättigungspunct hinaus erzeugte und
Einfluss des weichen Eisens gefesselte Magnetismus.

Das Streben eines jeden Magnetpols, die Polarität andere
schwächerer Magnete, die innerhalb ihres Wirkungskreises ge
und selbst bis zur Uebersättigung zu entwickeln, gibt bei verglei
suchungen über die Stärke bleibender magnetischer Thätigkeit
anlassung zu Fehlern. Eine Magnetnadel z. B., die vor dem
starken Magnets (übrigens unter ähnlichen Bedingungen, wie di
283 hervorgehobenen) in einem Abstande von 6—8 Zoll eine
Schwingungen macht, wird, näher gebracht, rascher schwingen,
Gesetze des Quadrats der Entfernung geschehen dürfte, weil be
Nähe ihre eigene magnetische Kraft zugenommen hat.

Nadeln, deren magnetisches Verhalten unverändert bleiben so
keinem Magnete von sehr grosser Wirksamkeit nahe gebrac
müssen ferner von sehr hartem Stahle verfertigt und nur schw
nicht bis zur Sättigung magnetisirt seyn.

Stahl, den man aus dem Kirschroth-Glühen gehärtet hat, bes
Coërcitivkraft und eignet sich desshalb sehr gut für kleine Ma
grösseren Stücken hält es aber schwer, solchen glasharten Stah
gung zu magnetisiren. Zu grösseren Magneten, namentlich den
neten, wählt man desshalb gewöhnlich einen weniger stark g
durch Anlassen über Kohlenfeuer theilweise wieder enthärteten

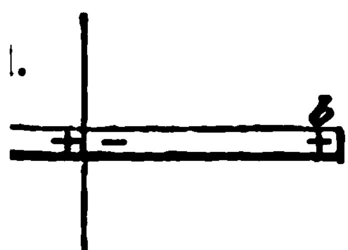
289. Zur Erklärung der Erscheinungen der magn
ziehung und Abstossung nimmt man an, dass die mate
eines jeden Magnets Träger von zwei Kräften sind,
für sich betrachtet, sich dadurch charakterisirt, dass
hafteten Theile einander abstossen. Man nennt sie p
negative magnetische Kraft (man sagt auch: d
und **negative Magnetismus**), weil sie in ihren we
Beziehungen einander entgegengesetzt sind. Sie w
hend auf einander und treten, wenn beide in ein un
Puncte in solchen Verhältnissen vorhanden sind, dass
genommen, Wirkungen von gleicher Grösse hervorbri
in einen Zustand des vollkommensten Gleichgewich
der **natürliche magnetische Zustand** genannt
wechselseitige Anziehung erstreckt sich auch auf die
mit abnehmender Stärke (283).

daher den Wirkungen der einen aus der Entfernung das
wicht zu setzen, ist stets ein, je nach der Grösse des
es, mehr oder weniger grosses Uebergewicht der andern
lich. Dies ist der Zustand der Bindung, der also niemals
ollkommenen Gleichgewichtszustande beider Principe ent-
n kann.

dem Magnete ist der natürliche magnetische Zustand ge-
der Weise, dass die positive magnetische Kraft auf der
s + Pols, die negative auf der Seite des — Pols vorwal-
Coërcitivkraft widersetzt sich der gegenseitigen Anziehung
en getrennten Kräfte und verhindert dadurch die Herstel-
s Gleichgewichtszustandes.

em unmagnetischen Eisen sind ebenfalls beide Kräfte vor-
aber überall im natürlichen oder Gleichgewichtszustande.
das Eisen in die Wirkungssphäre eines Magnetpols, so wer-
enigen Theile seiner Masse, welche die Träger der gleich-
n magnetischen Kraft sind, abgestossen, diejenigen, an
n die ungleichnamige Kraft haftet, angezogen und dadurch
räfte, ähnlich wie in dem Magnete selbst und auch nach
en Richtung getrennt oder vertheilt.

. Wenn man einen Magnetstab von beliebiger Grösse in
le durchschneidet, so werden die scheinbar auf beiden Sei-
Mittellinie vertheilten entgegengesetzten Kräfte nicht ge-
sondern es entstehen dadurch zwei Magnete, jeder mit
olen, und zwar bildet sich an der Seite des Durchschnitts
len + Pol hin ein — Pol, an der andern Seite ein + Pol.
beide Stücke wieder zusammengerückt, so verschwinden die neu entstandenen Pole und man erhält wieder, wie früher, einen einzigen Magnet mit zwei Polen. Kehrt man beide Stücke um und bringt man die Flächen *a* und *b* (Fig. 101) in Berührung, so verschwinden die ursprünglichen Pole und die neu ent-
en treten an ihre Stelle. Die in Folge der Zertheilung des
an der Trennungsfläche zum Vorschein gekommenen
schen Kräfte sind also nicht erst im Augenblicke der Tren-
zeugt worden. Sie waren schon vorher da, aber gerade in
hältnisse, um einander in ihren Wirkungen nach Aussen
lig aufzuheben.



Magnet, wo immer man denselben zerschneiden mag, zer-
s in zwei Magnete. Wollte man als Durchschnittsstelle ei-
Pole selbst wählen, gleichwohl würde auf der einen Seite
itts ein + Pol, auf der andern ein — Pol zum Vorschein
. Kurz, jeder Abschnitt eines Magnets, so klein er auch
g, zeigt für sich wieder magnetische Polarität.
er die eine noch die andere der beiden magnetischen Kräfte

hat also ihren Sitz ausschliesslich oder auch nur vorzugi der Seite des gleichnamigen Pols. Beide müssen vielm zeitig nicht nur auf den zwei Seiten der Mittellinie, son in jedem noch so kleinen ablösbaren Theile vorhanden wird hierdurch zu der Vorstellung berechtigt, dass di Theile, dass die Atome eines Magnets magnetische P sitzen.

Auf dieselbe Art lässt sich der Beweis führen, dass big gewähltes, soeben erst magnetisch gewordenes St z. B. eine magnetisirte Stahlfeder, ja dass das nur vorü magnetische Schmiede-Eisen an allen Puncten zugleic und negativen Magnetismus enthalten muss. Also de mus, wo er überhaupt auftreten mag, scheint nur auf ei tät der Atome zu beruhen.

Nach dem gegenwärtigen Standpuncte unserer Kenntnisse in Magnetismus kann man als völlig ausgemacht ansehen, dass die Polarität der Atome die nächste Ursache der magnetischen Ersch Ungewiss bleibt aber noch, ob diese Polarität etwas ursprünglic oder nicht selbst erst durch eine Aenderung in der inneren Besc Atome hervorgebracht wird. Früher suchte man nämlich allgem netischen Erscheinungen aus dem Daseyn eines gewichtslosen erklären, das sich in jedem Körper, der magnetisch werden kann, das man als den eigentlichen Träger der magnetischen Kraft si Dieses Fluidum ist aus zwei Bestandtheilen, dem positiven und ne neticum zusammengesetzt, die sich in dieser ihrer Verbindung, al kungslos, durch keine Aeusserung der Thätigkeit zu erkennen ge sie sich aber aus irgend welchem Grunde und sammeln sie si verschiedenen Puncten eines wägbaren Stoffs, so erscheint diese polarisch. Um die Vorstellung von dem Daseyn eines magnetisc ferner beibehalten zu können, muss man damit die Annahme ver die Vertheilung des in einem jeden wägbaren Atome enthalten Magneticums, so wie die erwähnte Bewegung seiner Bestandt Gränze der Atome selbst beschränkt ist.

Geht man dagegen von der Ansicht aus, dass die magnetis eine wesentliche und bleibende Eigenschaft der Atome aller Kö magnetisch sind, oder werden können, so kann die magnetische V nichts Anderem bestehen, als in einer gewissen Richtung, die den A irgend welche Ursache verliehen wird; die Richtung nämlich, in Atome mit ihren ungleichnamigen Polen an einander gereihet sind tivkraft erklärt sich in diesem Falle als eine unvollkommene B der Theile, wodurch eine Aenderung derjenigen Lage, worin s kleinsten Theile einer gehärteten Stahlstange gerade befinden, ers

291. Da sich der Magnetismus von den materiellen ' welchen er haftet, nicht trennen oder auf andere übertr da gleichwohl das weiche Eisen beliebig oft magnetisc werden und die in ihm erregte Wirksamkeit wieder verl so müssen beide magnetischen Kräfte in jedem Atom solchen Verhältnisse vorhanden seyn, um sich wechse Gleichgewicht halten zu können. Hierdurch erklärt sich, einzelne Atom, selbst wenn man es als ursprünglich pol aussetzt, unfähig ist, magnetische Wirkungen auf mes fernungen hin zu erzeugen.

rch die Kraft eines von Aussen her wirkenden Magnetpols n die gleichnamigen Pole der Atome abgestossen, die unnamigen angezogen, wodurch diese kleinen Magnete gegen sind, sich in der Ordnung, wie Fig. 102 zeigt und wie es beim Durchschneiden eines Magnets in kleinere Stücke nimmt, nämlich mit gleichgerichteten Polen an einander zu n,

Fig. 102.

oder weniger vollständig, je nach der Stärke der äusseren irkung. Ein anderer Einfluss von Aussen ist mit Rücksicht auf vorhergehenden Thatsachen nicht denkbar. Auch genügt er, daraus die wahrnehmbare magnetische Polarität zu erklären.

genommen, eine Anzahl kleiner gesättigter Stahlmagnete, alle von glei-Grösse und gleicher magnetischer Kraft, werden mit gleichgerichteten aneinandergereiht, so gelangt jeder derselben unter den Einfluss aller n, und durch diese wechselseitigen Einwirkungen kommen die in jedem leinen Magnete haftenden, entgegengesetzten Kräfte zu einem Grade der ilung, der durch die Coërcitivkraft allein nicht erhalten werden könnte. ste Glied der Reihe m_{I} (Fig. 102) steht hauptsächlich unter dem Einflusse nächst liegenden Pols von m_{II} und mit abnehmender Stärke unter dem lgenden entfernteren Glieder m_{III}, m_{IV} u. s. w. bis zum letzten Elemente die Vertheilung der Kräfte des kleinen Magnets m_{I} ist diesen gemeinlichen Einflüssen und der schon früher durch seine Coërcitivkraft allein enen Polarität entsprechend. Auf das folgende Glied m_{II} wirken dieselKräfte, aber da m_{II} von m_{I} weit weniger entfernt liegt, als m_{I} vom n Gliede m_{II} der Reihe, so muss die magnetische Polarität von m_{II} mehr ckelt werden als die von m_{I}. In m_{III} findet eine noch vollständigere Verng statt, weil auf dieses Glied wieder eben so viele Kräfte wie auf die gehenden einwirken, aber m_{I} demselben näher liegt, als m_{III} an m_{II}. gemeinen müssen also die vertheilten magnetischen Kräfte des zweiten ntes der Reihe die des ersten, die vertheilten Kräfte des dritten Elementes s zweiten überwiegen u. s. w. bis zum mittelsten Elemente, in welchem Kräfte vollständiger als in allen übrigen entfaltet sind. Da nun nach Vorzung jedes Glied das ihm vorhergehende so wie das darauf folgende, je inen ungleichnamigen Polen berührt, so folgt, dass die positive Kraft ittelsten Elementes (des dritten in der Figur) die negative des vorherden, und die negative des mittelsten Elementes die positive des folgenden r Figur des vierten) bindet, aber nur zum Theile wieder gebunden wird. In er Weise bindet die positive Kraft des zweiten Elementes die negative des ersten, die negative des vierten Elementes die positive des fünften, ollständig wieder gebunden zu werden. So kommt es, dass auf der einen der Reihe aller — Magnetismus in den gebundenen Zustand gelangt, Magnetismus hingegen vorwaltend erscheint, und dass auf der andern gerade das umgekehrte Verhältniss eintritt.

ersten Elemente kommt alle überhaupt im Zustande der Vertheilung liche + magnetische Kraft als freier Magnetismus zum Vorschein; im n Elemente nur der Unterschied + (m_{I} — m_{I}); im dritten Elemente nur terschied + (m_{III} — m_{II}) u. s. w. Der Unterschied + (m_{II} — m^{1}) ist sultat des vertheilenden Einflusses des ersten auf das zweite Element und öglich kleiner seyn als + m_{I} (288). Der Unterschied + (m_{III} — m_{II}) Resultat des vertheilenden Einflusses des ersten auf das dritte Glied; n nicht so gross seyn als + (m_{II} — m_{I}), weil das erste Element dem weit näher liegt als dem dritten. Derselbe Schluss lässt sich auf die

folgenden Elemente fortsetzen. Die freie magnetische Wirksamkeit muss also von den Enden nach der Mitte hin abnehmen und in der Mitte selbst Null werden.

Jeder fertige Magnetstab besteht aus einer grossen Anzahl neben einander liegender Reihen solcher magnetischer Elemente. An den Enden des Magnets muss also, gleich wie an den Enden jeder einzelnen Reihe von Elementen, woraus er zusammengesetzt ist, die magnetische Thätigkeit am stärksten entfaltet seyn.

Die gleichartigen Kräfte auf einer Seite eines Magnets unterstützen sich in ihrer Wirksamkeit nach Aussen. Der gleichnamige Pol ist derjenige Punct, durch welchen ihre Mittlere oder Resultirende geht. Die Pole können folglich nicht an den äussersten Enden der Magnete liegen, aber man sieht zugleich, warum sie den Enden weit näher liegen müssen als der Mitte.

Coulomb hat die Vertheilung des freien Magnetismus in dünnen und ohne Zwischenpole bis zur Sättigung magnetisirten Stahlstäben einer scharfen experimentellen Prüfung unterworfen (Biot traité de phys. III, 70). Er fand, dass die Intensität des freien Magnetismus von den äussersten Enden an, wo sie am grössten ist, bis zu einem Abstande von ungefähr drei Zoll rasch, von da an aber sehr allmählig und fast gleichförmig abnimmt.

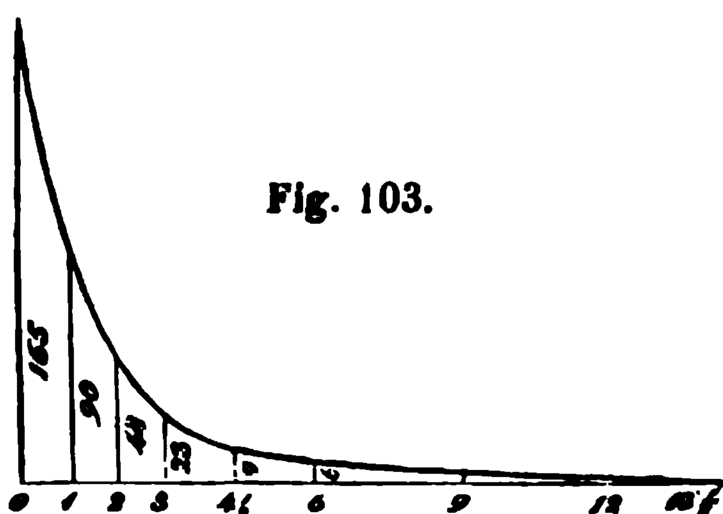


Fig. 103.

Das Gesetz dieser Abnahme ist anschaulich durch die in Figur dargestellte (aus Biot's traité de phys. entlehnte) Intensitätscurve, bei welcher die Intensitäten, nach ihren relativen Grössen, in verschiedenen Abständen vom einen Ende eines magnetisirten Stahldrahts von 27 Zoll Länge und 2 Linien Durchmesser auf den entsprechenden Abscissen als Ordinaten aufgetragen sind. Die Krümmung dieser Curve ist an beiden Enden des Magnets gleich.

Die Länge eines Magnetstabs, in so fern sie nur 6 — 7 Zoll übersteigt, hat keinen wesentlichen Einfluss auf die Intensität der an seinen Enden vertheilten Kräfte, dergestalt dass die Stärke des freien Magnetismus vom äussersten Ende bis zu 3 Zoll Entfernung hin fast unverändert blieb, wenn der magnetische Stahldraht allmählig verkürzt wurde. Ueber diese Gränze hinaus gegen die Mitte hin wird die freie magnetische Kraft bei allen regelmässig magnetisirten Stahlstäben sehr schwach. Ganz und gar verschwindet sie jedoch nur in der Mitte.

292. Da die Kraft der Magnete nicht bloss in den Polen ihren Sitz hat, da vielmehr alle Theile der Masse zur Grösse dieser Wirksamkeit beitragen können, so beruht das zweckmässigste Verfahren, eine Stahlstange magnetisch zu machen, wesentlich darauf, dass so viel irgend möglich die magnetische Vertheilung in allen Puncten der Stahlmasse und gleichmässig bewerkstelligt werde.

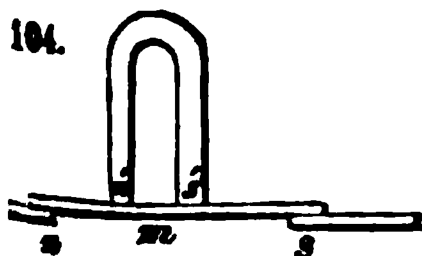
Durch die blosse Annäherung eines Magnets kann dieser Zweck nicht vollständig erreicht werden, weil die vertheilende Kraft auf die entlegneren Puncte der Stahlmasse offenbar nicht mit derselben Stärke als auf die näher liegenden einwirken kann. Dieses Verfahren ist daher nur bei kleinen Magnetnadeln anwendbar.

Ein besserer Erfolg lässt sich erwarten, wenn man einen Pol des fertigen Magnets auf dem einen Ende des noch nicht magnetischen Stahls aufsetzt und der Oberfläche entlang nach dem andern Ende (am besten unter einem Winkel von 15 — 20°.

[I, 59) hinstreicht. In diesem Falle werden nach und nach rtikeln der Stahlmasse gleichmässig in Bewegung gesetzt, gleichnamigen Pole kehren sich gegen den Magnet, ihre amigen wenden sich von demselben ab. An dem Ende der , womit der Magnetpol zuletzt in Berührung war, muss folg- ungleichnamiger Pol, an dem entgegengesetzten der gleich- entstehen.

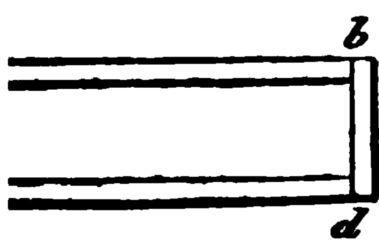
ch diese Behandlungsweise, auch wenn sie mehrmals immer selben Sinne wiederholt wird, können jedoch nur dünne Stahl- von weniger als ½ Linie Dicke (z. B. Uhrfedern) bis zur ng magnetisirt werden. Ueberdiess gibt sie leicht die Ver- ung zur Bildung von Zwischenpolen, namentlich bei länge- hlstäben. Solche Zwischenpole entstehen jedesmal an den- n Stellen, an welchen der streichende Magnet länger als an verweilt hat.

s wirksamste Hülfsmittel, um dickere Stahlstäbe vollständig gnetisiren, ist der sogenannte Doppelstrich. Man legt beide des Stabs auf die entgegengesetzten Pole zweier starken Magnete (Fig. 104). Ein Hufeisenmagnet wird dann in der Mitte des Stabs aufge- setzt, gleichmässig nach dem einen und andern Ende hin und her bewegt und end- lich wieder aus der Mitte lothrecht abge- hoben. Während dieses Verfahrens wer- ie magnetischen Kräfte eines jeden zwischen die Pole n' und genden Stahltheilchens vollständiger aufgeregt, als diess zeitig bei allen ausserhalb liegenden Theilen geschehen kann, ieser Unterschied ist um so bedeutender, je näher die Pole d s' zusammenstehen. Die magnetischen Kräfte des Stahl- werden also in jedem Augenblicke der Hin- und Herbewe- des Hufeisenmagnets vorzugsweise nur nach einer Richtung lt. Da sie nun in dieser Richtung durch die Einwirkung der und s sogleich gebunden werden, so kann eine neue Auf- g anderer, noch nicht vertheilter Kräfte eintreten, so lange ganze bindende Kraft der starken Magnete n und s gesät-



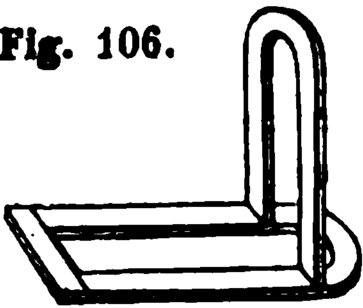
104.

wandt mit diesem Verfahren, wiewohl nicht ganz so wirk- t das folgende: Zwei gleichlange Stahlstäbe werden gleich- l neben einander gelegt und ihre Enden durch kleine Stücke de-Eisen verbunden, so dass sie ein Parallelogramm bil- den (Fig. 105). Der eine Pol eines Huf- eisenmagnets wird dann auf dem Puncte a des einen Stabs, der andere Pol auf dem Puncte c des andern Stabs aufgesetzt und gleichzeitig der Oberfläche beider Stäbe entlang bis an das andere Ende gestrichen;

Fig. 105.


zurück streicht man dann mit den umgekehrten Polen u. hierdurch in dem Stahle entwickelten Kräfte werden je ungleichnamigen Kräfte, die sie im weichen Eisen hei gebunden, und auf diese Weise die Möglichkeit gegeb weit höhern Grad der Vertheilung hervorzubringen, als Streichen mit dem Hufeisenmagnete allein hätte bewirl können.

Um einen hufeisenförmigen Stahlstab mittelst eines magnets zu magnetisiren, setzt man die Pole des letzter Biegung des ersteren auf und streicht von hier aus bis übe desselben hinaus. Der Streichmagnet ohne das Hufeisen zu berühren, nacl gung zurückgebracht und dieselbe so oft wiederholt, als dadurch etwas werden kann. Beide Enden des Hufei sen dabei stets mit einem Anker verb ben. Das Streichen muss nicht im um Sinne, nämlich von den Enden nach der Biegung hin, v Mitte des neu zu bildenden Magnets vorstellt, bewerkst den, weil sonst an der Biegung ebenfalls Pole entstehe


Fig. 106.

Coulomb empfiehlt, zur Verfertigung von künstlichen Mag Stahlstäbe von mehr als 2—3 Linien Dicke zu verwenden; weil hatte, dass zwei gleiche Stäbe von dieser Dicke, jeder so stark magnetisirt und dann mit ihren gleichnamigen Polen verbunden, samer, als ein einziger Stab, der so dick als beide zusammen und stark wie möglich magnetisirt war.

Durch Erwärmen vermindert sich die Stärke der Magnete; z. B. nadeln aufgehängt, zeigen sie, nachdem sie einer höhern Temper setzt worden waren, eine Abnahme ihrer Richtkraft, d. h. sie mache Zeit eine geringere Anzahl Schwingungen als vorher. Ein Stahlmag unter einem rechten Winkel gegen den magnetischen Meridian bi Roth-Glühen erhitzt und dann in derselben Lage wieder erkalten lä seine Polarität bis zur letzten Spur.

Eine Zeit lang hat man geglaubt, dass die Lichtstrahlen eine polarisirende Kraft besässen. Mit Sorgfalt angestellte Versuche vo Moser, so wie auch von Seebeck haben jedoch gezeigt, dass j auf einem Irrthum beruht.

Erscheinungen der electrischen Anziehung und Ab

293. Jeder Körper kann unter gewissen Bedingung genschaft annehmen, beliebige andere, leichte oder d bewegliche Körper schon aus einiger Entfernung anzuz nach erfolgter Berührung sie wieder abzustossen. Körpe diese Eigenschaft besitzen, nennt man electrisch; d schaft selbst, Electricität.

Es gibt verschiedene Mittel einen Körper electrisch z das einfachste und am längsten bekannte ist Reibung.

: Siegellackstange oder ein trocknes Glasrohr oder auch eine Scheibe
·tall, die man an einer mit Schellack überzognen Handhabe festhält,
mit trocknem Wollenzeug oder mit Katzenpelz gerieben, so zieht sie
Dinge wie Papierschnitzel oder kleine Stückchen Flittergold so stark
.s ihr dieselben schon aus einiger Entfernung entgegenspringen. Zum
bleiben sie daran hängen, zum Theile werden sie sogleich wieder abge-
ı. Noch empfindlicher gegen die electrische Anziehung ist eine kleine
ens 1½ Linien dicke Kugel von Hollundermark, welche an einem Linnen-
wie ein Pendel frei aufgehängt ist. Um auch die electrische Abstossung
bachten, muss man das Hollundermarkkügelchen an einem Seidenfaden
gen; es wird dann bei der Annäherung des electrischen Körpers, am
der geriebenen Metallscheibe angezogen und sucht allen Bewegungen
ben zu folgen. Nachdem aber die Berührung stattgefunden hat, scheint es
be zu fliehen. Durch die Abstossung nach erfolgter Berührung unterschei-
:h der electrische Zustand sogleich wesentlich von dem magnetischen.
ɜ Electricität als Eigenschaft einiger Körper, insbesondere der Harze, war
den Alten bekannt; der Name wird von dem Worte ἤλεκτρον (Bernstein)
eitet.

94. Der electrische Zustand ist bei den meisten Körpern nur
geringer Beständigkeit. Schellack gehört zu denen, bei wel-
ı er sich am längsten erhält. Metalle verlieren ihn am leich-
n. Sein Auftreten oder Verschwinden hat übrigens nicht den
ngsten sinnlich wahrnehmbaren Einfluss auf ihre sonstige
chaffenheit: Gewicht, Festigkeit, Grösse, Farbe u. s. w. Man
daher den electrischen Zustand von der Gegenwart eines
enthümlichen, sehr feinen, flüchtigen und gewichtlosen Stoffes
geleitet, welcher die Poren der Körper durchdringt, sich übrigens
ı dem Wärmestoff (42) durch seine Unfähigkeit, auf die Atome
wägbaren Materie unmittelbar einzuwirken, wesentlich unter-
eidet. Der Name Electricität, der ursprünglich nur eine Ei-
schaft bezeichnete, ist auf diesen hypothetischen Stoff über-
en worden.

295. Schellack oder Siegellack, auch trocknes Glas, werden
an den Stellen electrisch, wo man sie reibt. Wird electrisch
ordenes Schellack mit dem Finger berührt, so verliert sich nur
ler Berührungsstelle der electrische Zustand. Um das Harz in
gewöhnlichen Zustand zurückzuführen, muss man daher mit
Finger über seine ganze Oberfläche hinfahren.

iner electrischen Metallplatte, die man, gleichgültig an wel-
Stelle, mit dem Finger berührt, wird der electrische Zustand
sich vollständig entzogen. Es ist daher unmöglich, Metalle zu
risiren, während man sie mit blossen Fingern hält. Fasst man
über an Handhaben von Schellack oder von Glas, das mit
lackfirniss stark überzogen ist, so können sie durch Reiben
rocknem oder zuvor erwärmtem Pelzwerk eben so leicht wie
Harz electrisirt werden.

etalle, wenn man sie auch nur an einer einzigen Stelle ihrer
läche reibt, werden gleichwohl allenthalben electrisch. Be-
man einen electrisirten Metallkörper mit einem andern noch

14*

nicht electrischen, der aber ebenfalls an einer
gehalten wird, oder auf einem derartigen Fus
auch dieser den electrischen Zustand an, jedoc
der erstere von der Kraft, womit er vorher das
del anzog, eingebüsst hat. Man muss hieraus s
electrische Flüssigkeit von dem einen Metallkö
übergetreten ist.

Die Fähigkeit der Electricität, sich über all
fläche eines Metalles und selbst mehrerer in Be
Metallstücke zu verbreiten, erklärt man aus de
kleinsten Theile, einander abzustossen, und in
stellt, dass die Poren der Metalle der bewegten
sigkeit verhältnissmässig zur Feinheit ihrer
weite Oeffnungen oder Kanäle darbieten. Ma
dass Harz, Glas und andere Körper, in deren R
weniger leicht eindringen kann, in Folge ihrer
tur, die für eine rasche Fortpflanzung der elect
geeigneten Kanäle nicht besitzen, wenn schon
nicht unfähig sind, dieselbe in ihren Poren aufz

296. Die Metalle und andere Körper, durch
Electricität leicht fortpflanzt, nennt man Leiter
welche sich mehr wie das Schellack verhalte
leiter, oder richtiger schlechte Leiter ger

Zu den Leitern der Electricität gehören unte
der menschliche Körper, das Wasser, feuchte
kommen getrocknetes Holz, Papier, Hollu
Erdreich.

Zu den schlechten Leitern, trockne
Schwefel, Seide, Wolle, Haare, ganz trockne

Dass trockne Luft ein schlechter Leiter sey, geh
davon umgebener Körper im electrischen Zustande
Luft dagegen verlieren alle Körper, selbst die Nicht
trische Beschaffenheit. Der Grund dieses Verhalten
darin zu suchen, weil die Luft durch Aufnahme von
sondern weil alle festen Körper, die einen mehr, di
schaft besitzen, das Wasser aus der Luft anzuzieh
zu verdichten. In feuchter Luft werden sie daher
Leiter verwandelt. Holz besitzt diese Eigenschaf
Glas und Seide in ziemlich bemerkbarem Grade. I
feuchter Luft die Electricität nicht zurückhalten
sich nur in künstlich getrockneter Luft als ein
insbesondere Schellack, gehören zu den am wer
und halten daher die Electricität unter allen sc
rück. Glasstangen ohne Höhlung, so dass im I
kann, die ausserhalb mit Schellackfirniss ode
überzogen sind, nähern sich in ihrer nichtleit
Schellack. In Zimmern (Auditorien) vermeide
suchungen lästigen Einfluss der Luftfeuchti
Luftwechsel, und indem man die einen elec
durch mässiges Erwärmen relativ trocken m

;97. Wird ein electrisirter Leiter mit andern noch nicht elec- hen in Berührung gesetzt, so strebt die electrische Flüssigkeit löge der abstossenden Kraft (Repulsionskraft) ihrer Theile, über das ganze leitende System zu verbreiten. In dem Maasse, liess geschieht, nimmt ihre Dichtigkeit ab. Verbindet man den risirten Leiter mit dem Erdboden, so muss die vorhandne ricität, indem sie sich über diesen Leiter von verhältniss- ig unendlich grossem Umfange ausbreitet, sich bis ins Unend- verdünnen; d. h. der electrische Zustand verschwindet. Aus m Grunde können Leiter, die in leitendem Zusammenhange er Erde stehen, nicht electrisch gemacht werden.

in Leiter der Electricität, der nur von schlecht leitenden Stof- mgeben und dadurch von jeder unmittelbaren Verbindung mit n Leitern getrennt ist, heisst isolirt. Isolirte Leiter können hnen ertheilten electrischen Zutsand längere Zeit beibehalten, schon ihre eigne Masse dabei ganz ohne Einfluss ist. Die- n Nichtleiter, welche die Fortpflanzung der electrischen igkeit am meisten hindern und die also vorzugsweise geeignet dieselbe auf den Leitern zurückzuhalten, wie die Luft, das das Glas, die Seide, nennt man Isolatoren. Es gibt keinen r, der ganz und gar unfähig ist, Electricität aufzunehmen ortzuleiten. Auch die besten Isolatoren müssen daher den ertheilten electrischen Zustand nach und nach wieder ver- t.

8. Wenn ein Körper, insbesondere ein Leiter der Electricität, ectrischen Zustand in einem schon ziemlich hohen Grade ärke angenommen hat, und man demselben irgend einen stand, am besten wieder einen Leiter nähert, so springt, die Berührung stattgefunden hat, ein knisternder Funke der unter günstigen Umständen auch bei Tage sichtbar ist, elcher, wenn er einen Theil des menschlichen Körpers trifft, ewisse schmerzhafte Empfindung bewirkt.

). Um recht deutliche und starke Funken zu erhalten, ist es Leiter von bedeutendem Umfange in den electrischen Zu- tu versetzen. Diess geschieht mittelst grosser Cylinder oder en von Glas, die auf einem festen Gestelle um ihre Axen t und dadurch an festliegenden Lederkissen, deren Ober- gewöhnlich mit Zink-Zinnamalgam bedeckt ist, gerieben . Dem Glase ist ein isolirter metallischer Leiter so nahe iglich gerückt, wodurch während der Umdrehung fortdauernd il der Electricität des Glases auf das Metall überströmt und sem nach Erforderniss auf andere Leiter übertragen wer- nn. Vorrichtungen dieser Art nennt man Electrisir- inen. Der dazu gehörige isolirte Leiter führt vorzugsweise men Conductor oder auch wohl erster Conductor.

solirter Leiter, der mit dem ersten Conductor in leitender Verbindung

steht, verhält sich während des Gangs der Maschine ganz so wie der erste Conductor selbst. Stellt sich z. B. ein Mensch auf einen Stuhl mit Glasfüssen, so kann man, sobald er den Conductor berührt, Funken aus allen Theilen seines Körpers ziehen. Nähert er die eine Hand dem Hollundermark-Pendel, so wird es erst angezogen, dann nach der Berührung abgestossen.

Berührt man den Conductor, ohne selbst isolirt zu seyn, oder hängt man eine bis auf den Boden hinabreichende Kette daran, so kann er in keinem bemerkbaren Grade electrisch werden, weil die ganze Menge der erregten Electricität vermöge ihrer Repulsionskraft sogleich in die Erde abfliesst.

300. Wenn einem mit Electricität behafteten Körper ein Leite derselben bis zum Ueberschlagen des Funkens genähert wird, so vermindert sich die Kraft, womit er ein Pendel von Hollundermark anzieht, oder nach der Berührung abstösst; der genäherte Leiter, wenn er isolirt war, wird electrisch. Die Erscheinung des Funkens bezeichnet also den Uebergang der Electricität von einem Körper zum andern durch eine nichtleitende Luftschicht.

Man findet, dass der electrische Funke auf die besten Leiter am leichtesten überspringt.

301. Ist die in einem Körper erregte oder demselben mitgetheilte Electricität durch nichtleitende Umgebungen gehindert, sich fortzubewegen, so äussert sich die gegenseitige abstossende Kraft ihrer Theile als Druck. Dieser Druck wird electrische Spannung oder Tension genannt. Die electrische Abstossung wirkt nicht nur bei der Berührung, sondern auch, wiewohl mit abnehmender Stärke, in die Ferne. Theile eines electrischen Körpers, welche in der Richtung dieser gegenseitigen Einwirkung beweglich sind, müssen sich daher, wenn der electrische Druck grösser ist, als der Widerstand ihres Gewichtes, von einander entfernen.

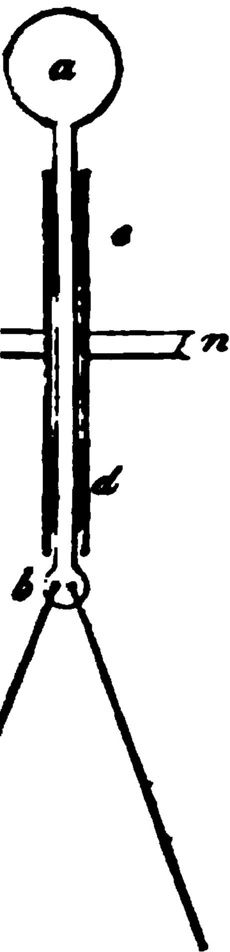
Man befestige z. B. zwei kleine Kugeln von Hollundermark mittelst Linnenfäden oder sehr feiner Metalldrähte dicht neben einander an einem isolirten Leiter. Sobald derselbe electrisch wird, entfernen sie sich aus der lothrechten Lage so weit, bis der Widerstand der Schwere mit der electrischen Spannung im Gleichgewicht steht. Berührt man den Leiter mit einem andern, der ebenfalls isolirt ist, und vermindert man dadurch die Dichtigkeit des vorhandnen electrischen Fluidums, so vermindert sich auch die Divergenz beider Hollundermark-Pendel. Sie kehren ganz in die Ruhelage zurück, wenn der Leiter mit dem Finger berührt wird. Die Grösse der Divergenz beider Pendel gibt also einen Anhalt für die Grösse der electrischen Dichtigkeit und Spannung.

Die electrische Abstossung nach erfolgter Berührung ist ebenfalls eine Wirkung der electrischen Spannung; denn man findet, dass nur solche Körper abgestossen werden, welche bei der Berührung electrisch geworden sind, und dass die Abstossung nur so lange währt, als sie electrisch bleiben.

Man hänge einen leichten, die Electricität leitenden Körper an einen Seidenfaden zwischen zwei Metallscheiben, von welchen die eine in leitender Verbindung mit der Erde steht, die andere isolirt und electrisch ist; so wird er sich

selnd und in rascher Folge bald nach der einen, bald nach der andern
:geben und diese Oscillationen so lange fortsetzen, bis von dem isolirten
.lle Electricität verschwunden oder doch die Wirkung derselben nicht
räftig genug ist, um das durch die Berührung mit der nicht isolirten
'on Electricität befreite Pendel von Neuem anzuziehen. — Das electri-
)ckenspiel.
kleine Kugel von Schellack, als Pendel aufgehängt, ist zur Anstellung
n beschriebenen Versuchs untauglich, weil dieses Harz die Electricität
ıdern Körpers nicht leicht aufnimmt, noch auch willig ist, das einmal ge-
e wieder abzugeben. Umhüllt man aber die Schellackkugel mit Gold-
und gibt ihr dadurch eine leitende Oberfläche, so verhält sie sich ähn-
eine kleine Kugel von Hollundermark.
bemerkt häufig, dass das Hollundermark-Pendel an geriebenem Harze
geriebenem Glase hängen bleibt. Findet jedoch Abstossung statt, so
ın auch immer finden, dass es nach der Berührung mit dem Finger wie-
ezogen wird, zum Beweise, dass es Electricität aufgenommen hatte.

2. Das an einem Seidenfaden hängende und dadurch isolirte
dermark-Kügelchen ist der einfachste, aber kein besonders
dlicher Anzeiger electrischer Zustände. Um es, insbesondere
e Einwirkung electrischer Nichtleiter, so empfindlich wie
h zu machen, wird ihm im Voraus Electricität mitgetheilt.
ringere Grade der electrischen Spannung entdeckt man durch
vergenz zweier neben einander hängender und in leitender
ıdung stehender Pendel.
des Werkzeug, geeignet, die Gegenwart der Electricität in
ı Körper wahrzunehmen, wird Electroscop (Electricitäts-
iger) genannt. Die gebräuchlichsten electroscopischen Vor-
ngen beruhen auf der wechselseitigen Abstossung zweier
ɪr Pendel.



ig. 107.

Die wesentlichen Theile eines Electroscops mit zwei Pendeln sind in Fig. 107 abgebildet. Zwei leichte, die Electricität leitende Pendel sind mittelst äusserst feiner Metalldrähte, die oben hakenförmig umgebogen worden, bei *b* in die Oeffnungen eines dicken, am untern Ende abgeplatteten Drahtes eingehängt und stehen dadurch mit einer Platte oder Kugel *a* von Metall in leitender Verbindung. Empfängt die letztere Electricität, so theilt sich diese den Pendeln mit, wodurch ein gewisser Ausschlag erfolgt.

Um diesen Hauptheil des Electroscops von andern Leitern möglichst abzusondern, wird der Draht mittelst Stöpseln von Kork oder Seide bei *c* und *d* in einem Glasrohr gut befestigt. Weil aber das Glas für sich nicht hinlänglich isolirt, so muss dasselbe inwendig dick gefirnisst und ausserhalb auf wenigstens 3 Zoll Länge mit einem Ueberzug von Schellack versehen werden. In der Mitte der
ɔ ist eine Fassung von Metall *n n* angekittet, worauf der Ap-

parat während des Gebrauches ruht. Um zufällige wirkungen zu begegnen, pflegt man ihn bis an einen Glasbehälter einzusenken.

Die Empfindlichkeit eines Electroscops ist neben Isolirungssystems hauptsächlich von der Beschaff del abhängig. Je nachdem man einen mehr oder wen von Empfindlichkeit erzielen will, wählt man daher Hollundermark-Kügelchen oder Strohhalmen oder s von unächtem oder endlich von ächtem Blattgold. findlichkeit die Hauptbedingung ist, darf überha Blattgold verwendet werden. Streifen von 2, 5 b und etwa ¾ Linien Breite eignen sich dazu am be

Der Gebrauch des Electroscops mit zwei Pendeln ist zu eingeführt und später von Cavallo, Bennet, Volta verb

303. Das Hollundermark-Pendel, im Voraus in Zustand versetzt, wird nicht von jedem andern elec abgestossen. Hatte man es z. B. durch Berührung Conductor der Maschine electrisirt, so wird es z und auch vom geriebenen Glase abgestossen, von e Siegellackstange dagegen wird es angezogen. Hat Berührung mit geriebenem Harze oder einer ger platte electrisch gemacht, so wird es von dem elec lack abgestossen, aber vom electrischen Glase an

Noch im unelectrischen Zustande befindlich, w dermark sowohl vom electrischen Glase wie vom Ha Nähert man aber beide electrische Körper gleichz gar keine Einwirkung statt.

Andere Körper, so viele und so verschiedenar Reiben in den electrischen Zustand versetzen ma entweder dem Glase oder dem Harze ähnlich. Ein d mit ihm selbst electrisch gemachtes Pendel wird j wurde aber dem Pendel Electricität schon zuvor wird es von den einen angezogen, von den ande werden.

In der Wirksamkeit verschiedener durch Reib Körper findet also ein bestimmter Gegensatz stat Gegensatze der beiden magnetischen Kräfte. Ma daher einen positiven (+) und negativen(— Zustand; und zwar gilt die erstere Bezeichnung fü geriebenen Glases ähnliche electrischen Zustände, alle, dem des geriebenen Siegellacks ähnliche elect

304. Die entgegengesetzte Wirksamkeit des ge und des geriebenen Harzes erklärt man durch di zwei electrischen Flüssigkeiten, der positive (+e), und negativen Electricität (—e), jede für sich betrachtet, ganz gleich in ihrem V

nach verschiedenartig sind. Sie besitzen die Eigenschaft, r schon aus der Entfernung anzuziehen und wirken dadurch pulsionsvermögen jeder einzelnen gegen sich selbst ent- Können sie zu einander übertreten, so verbinden sie sich n bestimmten Verhältnisse, und bilden dadurch einen für Sinne völlig unwahrnehmbaren Gleichgewichtszustand. hältniss, in welchem beide in dieser Verbindung (dem len Electricum) enthalten sind, ist erfahrungsmässig t durch eine gleichstarke Spannung, z. B. durch gleiche ız zweier Strohhalm-Pendel, bewirkt durch jede der beiden eiten, wenn sie über gleichartige und gleichgrosse leitende verbreitet sind. War die eine oder die andere im Ueber- orhanden, so bleibt sie mit sichtbarer Spannung zurück.

hme zwei Electroscope mit Pendeln von Strohhalmen und auch sonst her Einrichtung und Grösse. Die Metallplatte des einen werde durch Pelz electrisirt. Dem andern theile man die Electricität des ersten s mit, so lange bis die Pendel in beiden Instrumenten denselben Aus- ;en. Die in beiden angesammelten Electricitäten äussern also gleiche Spannung, aber auf dem einen befindet sich nur positive, auf dem an- egative Electricität. Jetzt verbinde man beide Metallplatten vermittelst en, isolirten Metalldrahts. Sogleich werden die Pendel der Electro- ummenfallen, zum Beweise, dass die vorher wirksamen Electricitäten iden sind. Hatte man beiden Instrumenten entweder nur positive oder ive Electricität mitgetheilt, so bleiben sie bei der wechselseitigen Be- lectrisch.

die auf zwei Leitern von gleicher Grösse angehäuften und gleich nnten Electricitäten eine nicht zu geringe Spannung besitzen, so sie sich schon vor der unmittelbaren Berührung beider Leiter unter ; eines Funkens. Die Erscheinung des Funkens in diesem Falle be- en Augenblick des Verschwindens beider electrischen Zustände.

n ersten Conductor der Maschine erhält man nur $+ e$. Verbindet man eibzeug mit einem isolirten Leiter, so kann man auf demselben, wäh- aschine betrieben wird, $- e$ ansammeln. Man kann auf diese Weise einer Electrisirmaschine beide Electricitäten gewinnen. Um aber reichlicher Menge zu erhalten, muss der für die andere bestimmte ler Erde verbunden seyn. Der Grund dieses Verhaltens kann erst in erörtert werden.

: gegenseitige Anziehung beider electrischen Flüssigkeiten, so wie n den Theilen jeder einzelnen stattfindende Abstossung auch wäg- e bewegen kann, widerspricht nicht der Unfähigkeit der Electricität, auf die Körper einzuwirken. Denn wenn die electrische Flüssigkeit ines Körpers durch die Luft und andere nicht leitende Umgebung rie durch eine Behälterwand eingeschlossen und dadurch verhindert Raum zu verlassen, so vermag sie einem äusseren Drucke nicht n, ohne den wägbaren Stoff, in dessen Poren sie sich aufhält, mit in ung zu ziehen. Wären alle Körper vollkommene Leiter, so würde ıer electrischen Anziehung und Abstossung derselben nichts wahr- ınen.

rie von zwei electrischen Flüssigkeiten oder die dualistische elec- orie ist zuerst von Symmer aufgestellt worden und wird daher ymmer'sche Hypothese genannt.

In, der früher als Symmer eine electrische Theorie entworfen die Ursache der electrischen Erscheinungen in den Eigenschaften er electrischen Materie, von der er annahm, dass ihre Theile sich

unter einander abstossen, dass sie aber von aller wägbaren Materie angez werden. Dieses Fluidum ist nach seiner Ansicht durch die ganze Körpe verbreitet und jeder Körper enthält im natürlichen Zustande eine, seiner e thümlichen Beschaffenheit entsprechende Menge davon; unter Umstände er aber mehr aufnehmen oder auch verlieren. Der positive electrische Zu bezeichnet einen Ueberfluss, der negative einen Mangel an der einem K zugehörigen natürlichen Electricitätsmenge.

Ganz entscheidende Gründe, die eine dieser Hypothesen der andern v ziehen, lassen sich aus den bis jetzt bekannten electrischen Phänomenen herleiten. Die Symmer'sche Theorie gibt aber von mehreren Ersche ungezwungnere Erklärung als die Franklin'sche und bietet eine sicherere G lage für die Rechnung; sie hat daher in der neuesten Zeit die Theor einem electrischen Fluidum (die Theorie der Unitarier) verdrängt.

305. Die Art des electrischen Zustandes eines Körpers nur durch Vergleichung erkannt werden. Hat man z. B. dem ten Hollundermark-Pendel + *e* ertheilt, so wird es von ei Pelz geriebenen Glasstange abgestossen. Von einer Sch stange, die man mit Wolle gerieben hat, wird es aber ange: der Schwefel muss folglich mit — *e* behaftet seyn.

Das bequemste und sicherste Verfahren, den electrisch stand eines Körpers zu prüfen, besteht darin, einem ge empfindlichen Electroscope mit zwei Pendeln im Voraus kleine Menge Electricität von bekannter Art, z. B. + *e* zu len. Man nähere dann von Oben den zu prüfenden Körper. gleichartig electrisch, so vergrössert sich der schon vor Ausschlag, weil das im Electroscop bereits enthaltene F von dem des electrischen Körpers abgestossen, sich na entferntesten Puncten des leitenden Systems, nämlich na Pendeln, zu begeben sucht und hier folglich stärker ang wird. Ist er entgegengesetzt, in unserem Beispiele — elec so vermindert sich der Ausschlag, weil das im Electrosco haltene Fluidum jetzt nach Oben gezogen und dadurch au Umfange der Pendel entfernt wird.

306. Wenn der dem Electroscope genäherte Körper entg gesetzt electrisirt ist und das electrische Uebergewicht auf s Seite liegt, so fallen bei einem gewissen Abstande desselbe Pendel ganz zusammen, gleich als wäre alle Electricität au leitendem Systeme des Electroscops entwichen. Entfernt ma den electrischen Körper, so kommt die ganze frühere Spa wieder zum Vorschein.

So lange der entgegengesetzt electrisirte Körper nahe ist, um das Zusammensinken der Pendel vollständig zu bew kann das Fluidum des Electroscops durch Berührung mit dei ger nicht abgeleitet werden. Dem Streben seiner Theile, sic anderen Richtungen als gegen den genäherten electrische per zu bewegen, ist also durch die Anziehung dieses letzte Gegengewicht gesetzt.

Die Electricität, wenn sie auf die eben beschriebene

ung aus der Ferne, ihre freie Beweglichkeit verloren ebundene Electricität genannt.

Zustand des Gleichgewichtes zwischen Attractions- und kraft der Electricität unterscheidet sich von dem aus dung beider Flüssigkeiten hervorgehenden Gleichstande wesentlich dadurch, dass er sogleich gestört man beide ungleichartig electrisirte Körper von einant, und dass, um die eine Flüssigkeit vollständig zu binndere im Ueberschusse vorhanden seyn muss. Auch Theile der gebundenen Electricität das Vermögen, einanossen, nicht verloren; nur kann es sich in keiner Weise odurch Richtung und Stärke der gegenseitigen Anziedert werden müsste.

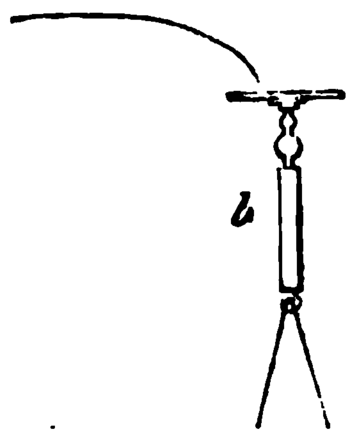
an einen electrischen Körper, z. B. die geriebene Siegellackstange, ngesetzt electrisirten Electroscope von Unten, so fallen die Strohnicht zusammen, wenn gleich das darin angehäufte Fluidum geund nicht abgeleitet werden kann.

isse Analogie der Erscheinung der electrischen Bindung mit dermagnetischen Bindung ist unverkennbar; man vergleiche §. 287.

ie electrische Bindung ist stets wechselseitig; d. h. dem einen, noch von dem andern der beiden einander stehenden, entgegengesetzt electrischen Körper kann seitige Berührung mit dem Finger alle Electricität abgeden. Sind beide Körper Leiter, so lässt sich durch able Berührung bald des einen, bald des andern allmählig icität entfernen. Denn da die vollständige Bindung des lums ein mit dem Abstande zunehmendes Uebergewicht hender Kraft auf der andern Seite erfordert, so muss auf der einen oder andern freie, d. h. ableitbare Electriden.

e zwei Electroscope *a* und *b* (Fig. 108) von gleicher Einrichtung der. Dem einen ertheile man + *ε*, dem andern — *ε* in geringerer Menge. Auf die Platte von *a* setze man eine dünne Harzscheibe, auf diese eine zweite Metallplatte und verbinde sie mit der Platte von *b* mittelst eines isolirten Metalldrahts. War der electrische Ueberschuss in *a* gross genug, so werden die Strohhalme von *b* zusammenfallen, aber gleichzeitig wird die Divergenz in *a* sich vermindern. Berührt man die Platte *a* mit dem Finger, so verschwindet die freie Electricität von *a*, dagegen die Pendel von *b* treten wieder aus einander. Entfernt man endlich die auf der Harzscheibe liegende Metallplatte, so bildet sich auch in dem Electroscope *a* wieder ein um Beweise, dass nicht alle Electricität desselben durch die Bee abgeleitet werden können.

ig. 108.



an bemerkt, dass die Pendel des Electroscops schon bei erung eines electrischen Körpers aus einander gehen.

Die Electricität, deren Gegenwart in den Pendeln hie
gezeigt wird, konnte nicht mitgetheilt worden seyn
Divergenz tritt ein, lange bevor ein Funken überspring
auch verschwindet sie bei trockner Luft spurlos, (
electrische Körper wieder entfernt wird. Nähert man
von Oben, so erweist sich jene in den Pendeln wirksa
cität als die gleichnamige. Sie fliesst ab und die Pe
zusammen, wenn das Electroscop mit dem Finger be
Aber nicht alle vorhandne Electricität konnte auf diese
geleitet werden; denn unterbricht man die leitende
mit der Erde und entfernt dann erst den electrischen
entsteht ein neuer Ausschlag, doch jetzt durch Elec
gegengesetzter Art bewirkt. Durch die Annäherung (
schen Körpers muss also gleichnamige electrische
zurückgedrängt, ungleichnamige angezogen und geb
den seyn.

Da nun vorher weder die eine noch die andere i
Systeme des Electroscops bemerkbar war, so wird n
weiteren Schlusse genöthigt, dass sich beide in ihrer
als neutrales Electricum vorfanden, und dass diese
durch die Wirksamkeit der freien Electricität schon a
fernung getrennt werden kann.

Die gleichzeitige Gegenwart und das Verhältniss beider Flü
einem Körper lässt sich durch den folgenden Versuch sehr anscha
Man verbinde zwei ganz gleiche Electroscope mittelst eines Me
einem einzigen leitenden Systeme und nähere dann von der eine
mit freier Electricität behafteten Körper. Die Pendel beider Instru
divergiren. Man hebe ihre Verbindung auf, indem man den Metalld
isolirenden Handhabe ergreift und wegnimmt; dann entferne man
schen Körper. Beide Electroscope erscheinen nunmehr mit glei
freier Electricität behaftet; aber das dem electrischen Körper zunä
ist ungleichnamig, das entferntere gleichnamig electrisirt. Stellt m
bindung wieder her, so fallen die Pendel zusammen.

309. Jeder Leiter der Electricität, ja jeder noch so k
desselben, im Zustande seines natürlichen Vorkomm
beide electrischen Flüssigkeiten im Gleichgewichtsv
Freie Electricität, wo sie sich vorfindet, zersetzt, je
vorhandenen Menge und der Grösse des Abstandes, (
oder weniger grossen Theil des in den Leitern der Umg
haltenen neutralen Electricums. Ungleichnamige Flüss
angezogen und gebunden, während eine verhältnissmäs
der gleichartigen abgestossen wird und, wenn es die le
bindung gestattet, in die Erde entweicht. Die hierdurc
Störung des natürlichen Gleichgewichtszustandes nennt
trische Vertheilung.

Die vertheilende Kraft der Electricität vermindert
überhaupt die electrische Wirksamkeit, bei zunehmen
nung. Die Gränzen, bis zu welchen hin ein electrisc

inen wahrnehmbaren vertheilenden Einfluss übt, nennt man
Wirkungskreis, oder auch seine electrische At-
iäre.

'. Die Eigenschaft der Körper, durch Vertheilung ihres na-
n electrischen Fluidums electrisch werden zu können, er-
rarum leicht bewegliche Körper der electrischen Anziehung
können, ohne den entgegengesetzten Zustand durch Mit-
g erhalten zu haben. In der That werden, unter übrigens
n Umständen, solche Stoffe am stärksten angezogen, bei
n das gleichartige Fluidum am weitesten zurückgedrängt
ı konnte. Z. B. das am Seidenfaden hängende Hollunder-
ügelchen wird auffallend weniger stark angezogen als das
nden Linnenfaden befestigte, weil die beiden Electricitäten
steren durch die vertheilende Kraft nur um einen geringen
d von einander getrennt werden können, die eine daher
en so stark abgestossen, als die andere angezogen wird.
schlechter ein Körper leitet, um so weniger leicht können
ihm natürlich vorhandenen Electricitäten getrennt werden.
chellackkugel, pendelartig aufgehängt, bleibt daher inner-
es Wirkungskreises einer nicht sehr intensiven electrischen
ganz unbeweglich. Hat man aber den kleinen Körper zuvor
ech gemacht, oder umgibt man denselben mit Goldschaum,
gt er der electrischen Anziehung.

t der anziehende Körper sowohl wie der angezogene ein
, so vereinigt sich die angezogene Electricität im Augen-
der Berührung mit einem entsprechenden Theile ihres Ge-
zes; beide Körper, hierdurch gleichartig electrisch gewor-
ossen sich daher alsbald wieder ab. Nichtleiter gestatten
bergang ihrer Electricität zu der ungleichartigen der ange-
n Körpertheile nur schwierig; die Abstossung erfolgt da-
gsamer, zuweilen gar nicht.

n Ueberspringen des Funkens auf nicht electrische Körper
ets eine electrische Vertheilung vorher. Sein Uebergang
ı in diesem wie in dem früher (12) betrachteten Falle
entgegengesetzt geladenen Leiter, ein sichtbares Resultat
waltsamen Vereinigung beider Flüssigkeiten durch eine
de Luftschicht. Hiermit übereinstimmend ist die Erfahrung,
chtleiter nur einer sehr stark gespannten Electricität gegen-
d selbst dann nur schwierig, den Funken aufnehmen, und
erselbe unter sonst gleichen Umständen um so leichter
it, je vollkommner und je grösser der Leiter ist, welcher in
kungskreis eines electrischen Körpers gelangt. Ein klei-
lirter Leiter erhält weit schwächere Funken, weil seine
amige Electricität nicht weit genug zurückgedrängt wer-
an, um ihren Einfluss auf die ungleichnamige, von der
ennt wurde, ganz zu verlieren. Es ist übrigens einleuch-

tend, dass nach der Entwicklung des Funkens in dei
per gerade so viel Electricität und von derselben
worden seyn muss, als von dem andern in den Gle
zustand versetzt wurde, genau so, als wäre diese Fl
dem einen zum andern übergegangen.

311. Die auf einem Leiter durch Vertheilung ent
gebundene Electricität, vermöge ihres Bestrebens,
entgegengesetzten Fluidum zu vereinigen, nähert
ben, so weit es durch das Repulsionsvermögen
Theile und die Gränzen des Leiters gestattet wird. :
verdichtet sich daher vorzugsweise an den dem
electrischen Körper zunächst liegenden Stellen.

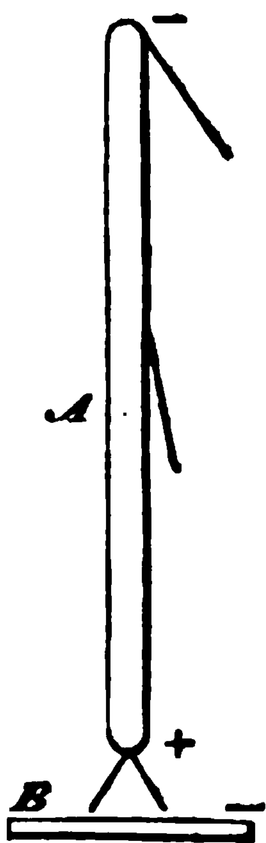


Fig. 109.

Trägt man z. B. einen isolirten L
109) über einen durch Reiben electris
Harzkuchen *B*, so wird man immer fin
electrische Spannung an beiden Enden
ist, und zwar am unteren in Folge der gel
am oberen in Folge frei gewordener — a
den Leiter *A*, so verschwindet die durch
Spannung, und nur am untern Ende d
vergenz der Strohhalme fort.

Je mehr Puncte eines Leiters d
eines mit freier Electricität behafteten
genüberstehen, so nahe als möglich,
durch Atmosphärenwirkung entwicke
namige Electricität zu der ursprüngli
übergehen kann, um so grössere Meng
ren werden gebunden, ohne dass jed
der vertheilten Electricität jemals diej
sprünglich electrischen Körpers erreichen kann.

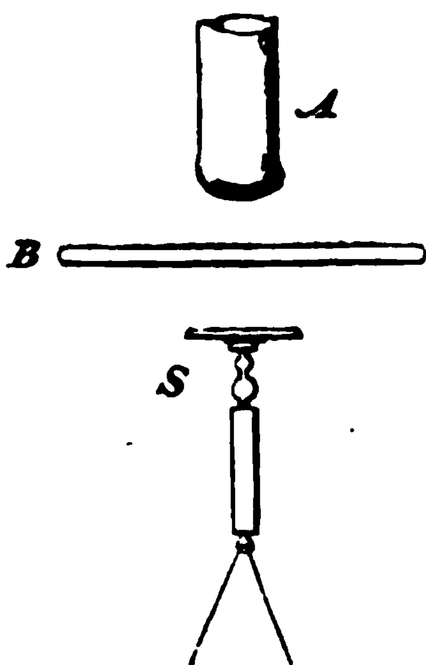


Fig. 110.

Man nähere einem bleibend
Körper (etwa einer geriebene
stange *A*, Fig. 110) das Electrosc
bis ein Ausschlag von bestimmt
folgt. Man setze dann zwische
Leiter, z. B. eine Metallplatte *B*,
allgemeinen Ableiter, nämlich mi
Verbindung steht. Der Ausschl
vermindern und bei hinlängliche
Platte ganz verschwinden. Kom
troscop einen Augenblick mit d
auch unmittelbar mit der Platte in
bindung, so bildet es gleichsam
liegendes Ende des der vertheilen
electrischen Körpers dargebotenen leitenden Syste
theilte ungleichnamige Electricität, nach dem vorde

s sich also vorzugsweise in der Platte ansammeln. raus, dass in dem Raume des Electroscops gar keine ur eine äusserst geringe Menge gebundner Electricität en und nach aufgehobner Verbindung mit der Erde und des electrischen Körpers (A) nachgewiesen werden ndet man das Electroscop und die Platte B nicht gleicher Erde, sondern zuerst nur die letztere und dann das kann das durch Atmosphärenwirkung vertheilte une Fluidum des Electroscops nicht zu der Platte überdiesem Falle wird daher nach Entfernung von A eine ergenz eintreten, als wenn das Electroscop, selbst bei Abstande vom ursprünglich electrischen Körper, mit B in Berührung war.

n Nichtleiter, z. B. eine trockne Glas- oder Harzscheibe nen electrischen Körper und das Electroscop gesetzt bt die vertheilende Kraft des ersteren unbeschäftigt, lem Harze vorhandenen natürlichen Electricitäten nicht erden können. Da demnach ein Nichtleiter im natürnde unfähig ist, die electrische Thätigkeit selbst zu beso kann er auch den Aeusserungen derselben auf die Hinderniss entgegensetzen. Daher kommt es, dass ies Glas und andere schlechte Leiter die Wirkungen hen Vertheilung, Anziehung und Abstossung, um so r durchlassen, je befähigter sie sind, die Electricität

etrachtung der Electricitäts-Erzeugung durch Reibung.

ch Reiben werden immer beide Electricitäten zugleich und zwar nimmt der eine der reibenden Körper $+ e$, $- e$ auf, in dem Verhältnisse, dass beide einander das ht halten können.

ge auf dem Electroscope eine Metallplatte, deren obere Fläche n ist, und reibe sie mit der gleichfalls ebnen Fläche eines andern, enden Körpers, z. B. mit einer Glas- oder Harzscheibe. Keine eine geringe Divergenz wird bemerkbar. So wie man aber beide erscheint der eine mit $+ e$, der andere mit $- e$ beladen.

raus hervor, dass der Reibungsprocess eine Zersetzung der nalnen Electricitäten an den äussersten Oberflächen zweier zusam- Körper herbeiführt; wobei aus Gründen, die bis jetzt unereine Princip auf dem einen, das andere auf dem andern Körper wird. Beide jedoch, da sie in Folge ihres Ursprungs in gleichem orhanden sind, binden sich wechselseitig und können also nur Trennung der Körper wahrnehmbar werden.

Art des electrischen Zustandes, welchen ein Körper ng erhält, richtet sich nach der Beschaffenheit des

Reibzeugs. Z. B. in der folgenden Reihe von Körpern w welcher, den man auswählen mag, mit einem der über i den gerieben, negativ, durch alle nachfolgenden positiv

Katzenfell,	Seide,
Fuchsschwanz,	Siegellack,
Polirtes Glas,	Mattgeschliffenes
Wolle,	Metall,
Papier,	Schwefel.

Diese Reihe ist übrigens nur annähernd richtig, we die eigenthümliche Beschaffenheit eines Stoffes, sonder äusserer Zustand und selbst die Art des Reibens auf der darauf erregten Electricität von Einfluss seyn könn

So findet man, dass mattgeschliffenes Glas gegen polirtes und Schellack negativ electrisch wird. Erwärmtes Glas wird nega durch Reiben mit kaltem Glase. Ueberhaupt rückt ein Körper in schen Reihe, wie die hier aufgestellte, durch Erwärmen abwärts. I stande hat man die Erklärung gesucht, warum von zwei weissen dern, aus demselben Stücke genommen, die kreuzweise über eina werden, das der Länge nach geriebene $+ e$, das in die Quere g annehmen müsse. Letzteres nämlich, da es sich an weniger Punct stärker erwärmt.

314. Man bemerkt, dass ein unter den vorher zu stellten Körpern beliebig gewählter durch Reiben um electrisch werden kann, je weiter das aus derselben wählte Reibzeug davon absteht. Um z. B. Siegellack electrisiren, ist Pelzwerk das geeignetste Reibzeug; u lirten Glase $+ e$ zu ertheilen, ist Wolle weit weniger v Metall. Das beste Reibzeug für Glas ist das Kienm Amalgam (2 Theile Quecksilber, 1 Theil Zinn, 1 Theil gegengesetzte electrische Zustände werden indessen erhalten, wenn man dem Anscheine nach ganz gleich per, z. B. zwei polirte Glasplatten, zusammenreibt.

Die zwischen zwei Körpern durch Reibung bewirkt dung der electrischen Flüssigkeiten kann über ein Gränze hinaus nicht gesteigert werden. Diese Gränze i wenn die bei der Reibung thätige zersetzende Kraft, v den Leitungswiderstand, mit der gegenseitigen Anziel Flüssigkeiten oder mit ihrem Bestreben, sich wieder zu ins Gleichgewicht getreten ist. Von den beiden auf ei riebenen Stoffen muss immer wenigstens der eine ein Leiter seyn; Alles, was die Leitfähigkeit dieses letzter z. B. Feuchtigkeit, vermindert die Anhäufung der erzeu tricitäten.

315. Schlechte Leiter werden zunächst zwar nur riebenen Stelle electrisch. Es scheint jedoch, dass freie an der Oberfläche eines schlechten Leiters nicht auftre ohne dass ein verhältnissmässiger Theil des entgege Fluidums im Innern ausgeschieden werde. Denn wenn

ibe von trocknem Glase oder Harze auf der einen
ι und dadurch electrisch wird, so nimmt die andere
;egengesetzten electrischen Zustand an; zwar in ge-
le der Spannung und häufig auch nicht sogleich. Fährt
. zu reiben, oder überlässt auch nur die Platte in
sich selbst, so werden die beiden gegenüberliegen-
ıch einiger Zeit unfehlbar ungleichnamige electrische
en.

ehrere dünne Scheiben auf einander gelegt und nur
andere der äussersten Oberflächen gerieben, so wer-
ıl alle, wiewohl in abnehmenden Graden, electrisch,
let man, dass jede Scheibe, für sich geprüft, auf der
t der geriebenen Oberfläche gleiche Lage hatte, die
ıuf der abgewendeten Fläche die ungleichartige Elec-

'r einen Seite einer nicht leitenden Scheibe durch Reibung ent-
:ität über die auf der andern Seite auftretende ungleichnamige
ıt hat, so lässt sich die letztere gewöhnlich nicht unmittelbar
:t man z. B. eine dünne Harzscheibe mit der nicht geriebenen
Platte eines Electroscops, so wird das letztere gleichwohl
ren und + E. wird gebunden. Hat man aber zuvor die obere, ge-
les Harzes mit einer andern Metallplatte bedeckt, so richtet
:nde Kraft der — E. des Nichtleiters vorzugsweise gegen die
tricitäten des zunächst liegenden Leiters. Jetzt wird daher + E.
:e gebunden, das entsprechende — E. abgestossen. Führt man
ührung mit dem Finger in die Erde ab, so wird durch die zu-
ıd gebundene + E. das Uebergewicht der — E. auf der geriebe-
arzscheibe beschäftigt, daher die + E. auf der nicht geriebenen
ıt. Die Wirkung auf die natürlichen electrischen Flüssigkeiten
ist nunmehr gerade die umgekehrte von vorher; nämlich — E.
nd + E. abgestossen.
: bleibend electrische Vertheilung, wie durch Reiben, kann in
ˈcknem Glase oder Harze auch durch die Atmosphärenwirkung
.en electrischen Körpers hervorgerufen werden, in der Art, dass
:hen Körper zugekehrte Fläche des Nichtleiters den ungleich-
;ewendete den gleichnamigen Zustand annimmt.
ichzeitige Entwicklung beider Electricitäten auf einem schlech-
ıränken sie wechselseitig ihre Wirkungskreise, werden aber
s eben dadurch auf der nicht leitenden Materie besser zurück-
ine Glas- oder Harzscheibe auf beiden Seiten gerieben, so dass
ı gleichartige electrische Flüssigkeiten entwickelt werden, so
:se wechselseitig ab; die ganze auf einer Seite entwickelte
ıer jetzt leichter auf andere Körper übertragen werden und
chbarte Leiter selbst in Gestalt eines Funkens über.

Electrisirmaschine.

ɔn Gesetzen der Electricitätserzeugung durch Reiben,
nrichtung der Reibungs-Electrisirmaschine. Sie be-
ˈeits erwähnt wurde, aus drei wesentlichen Stücken:
ht leitenden Körper, der gerieben wird, einem guten

Leiter, der als Reibzeug dient, und dem Conductor, bestimmt, d
auf dem geriebenen Körper erregte Electricität zu sammeln.

Das beste Material für den geriebenen Körper ist weiss hartes, wenig Kali haltiges und dadurch wenig hygroscopisc Glas. Man verwendet es in Gestalt von runden Spiegelschei oder hohlen Cylindern, die auf wagerecht liegenden Axen sitz um welche sie mittelst Kurbeln gedreht werden und dadurch s in dem festliegenden, mässig angedrückten Reibzeuge reib Dieses besteht gewöhnlich aus einem Lederkissen, worauf e Lage des Kienmaier'schen Amalgams mit etwas Schweinefett mengt, gleichförmig ausgebreitet ist. Dieser metallische Ueber muss von Zeit zu Zeit erneuert werden, weil das Zink währ des Gebrauchs sich oxydirt, wodurch, wie die Erfahrung lehrt, se Wirksamkeit sich vermindert. Um die Electricität des Reibze sammeln zu können, muss dasselbe eine isolirende Unterl haben und mit einem isolirten Leiter von grösserem Umfange Verbindung stehen.

Der erste Conductor, von Holz mit Metallpapier überzogen, o besser von Messigblech, ruht auf einem 2 — 3 Fuss hohen u über 1 Zoll dicken Glasfusse ohne Höhlung. In den Wirkungskr des mit + E. beladenen Glases gebracht, werden seine im natü lichen Zustande vorhandnen Electricitäten vertheilt; seine – angezogen, verbindet sich bei genügender Annäherung mit d + E. des Glases, während seine eigne + E. frei wird. Man bef dert diese Wirkung durch die Gestalt des Conductors, die so b schaffen sein muss, dass er der an ihm vorübergehenden ger benen Glasfläche, in möglichst geringem Abstande, eine Flä von entsprechender Breite darbieten kann. Auch pflegt m den gegen das geriebene Glas gerichteten Theil desselben, d sogenannten Einsauger, mit einigen Spitzen zu besetzen. We der Einsauger eine zweckmässige Gestalt und Grösse hat und d Glaskörper nahe genug steht, so kann er dem letzteren währ des Vorübergangs, fast alle durch Reiben darauf erregte Electri entziehen. Die von dem geriebenen Körper entfernteren Theile Oberfläche des Conductors müssen glatt abgerundet sein und fen keine Ecken oder hervorragenden Stellen zeigen.

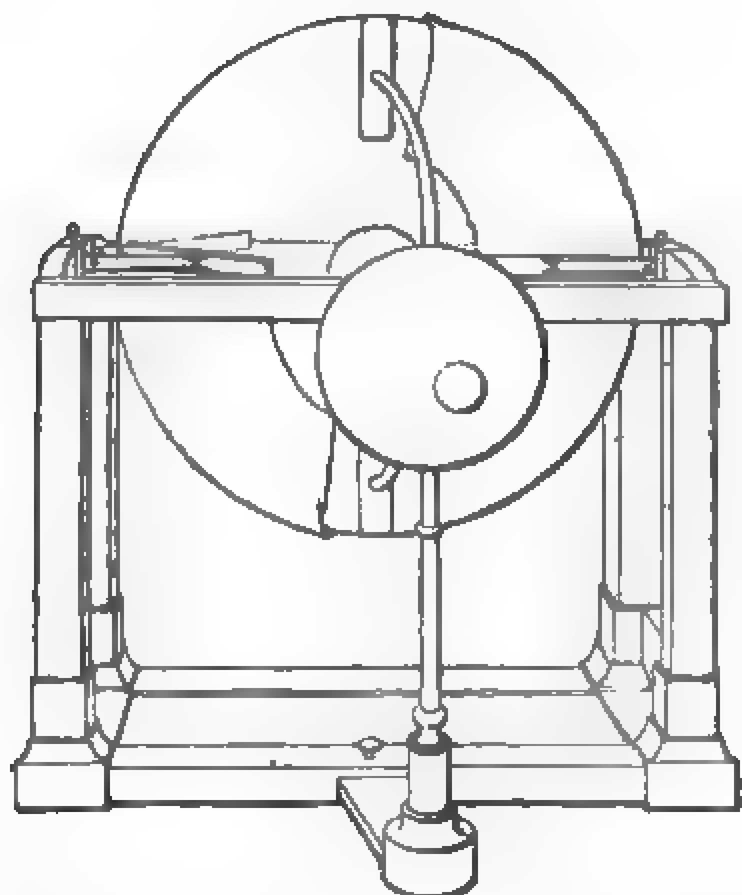
Um das Ueberspringen des electrischen Funkens vom Cond tor auf das Reibzeug zu verhindern, müssen beide so weit than von einander entfernt stehen. Damit aber die mit Electricität ladene Glasfläche nicht schon vor ihrer Ankunft an dem Conduct durch Berührung mit der Luft, einen Verlust erleiden könne, deckt man sie mit einem Streifen Wachstaffet, der am Rande Kissens angenäht ist, und bis in die Nähe des Einsaugers reich

Die Glasfüsse so wie der Glaskörper müssen vor dem brauche mit warmen wollenen Zeugen abgerieben werden, Feuchtigkeit, Staub und etwa anhängendes Amalgam zu en

›n die Luft feucht ist, erhält man dessenungeachtet auch
kräftigsten Maschinen nur geringe Wirkungen. Um ihre
‹eit zu steigern, muss man dann suchen die umgebende
e zu erwärmen und sie auf diese Weise relativ trockner

eibenmaschinen werden am häufigsten gebraucht. Eine runde, polirte
:ibe von höchstens 3 Linien Dicke und 20 bis 60 Zoll Durchmesser

1.



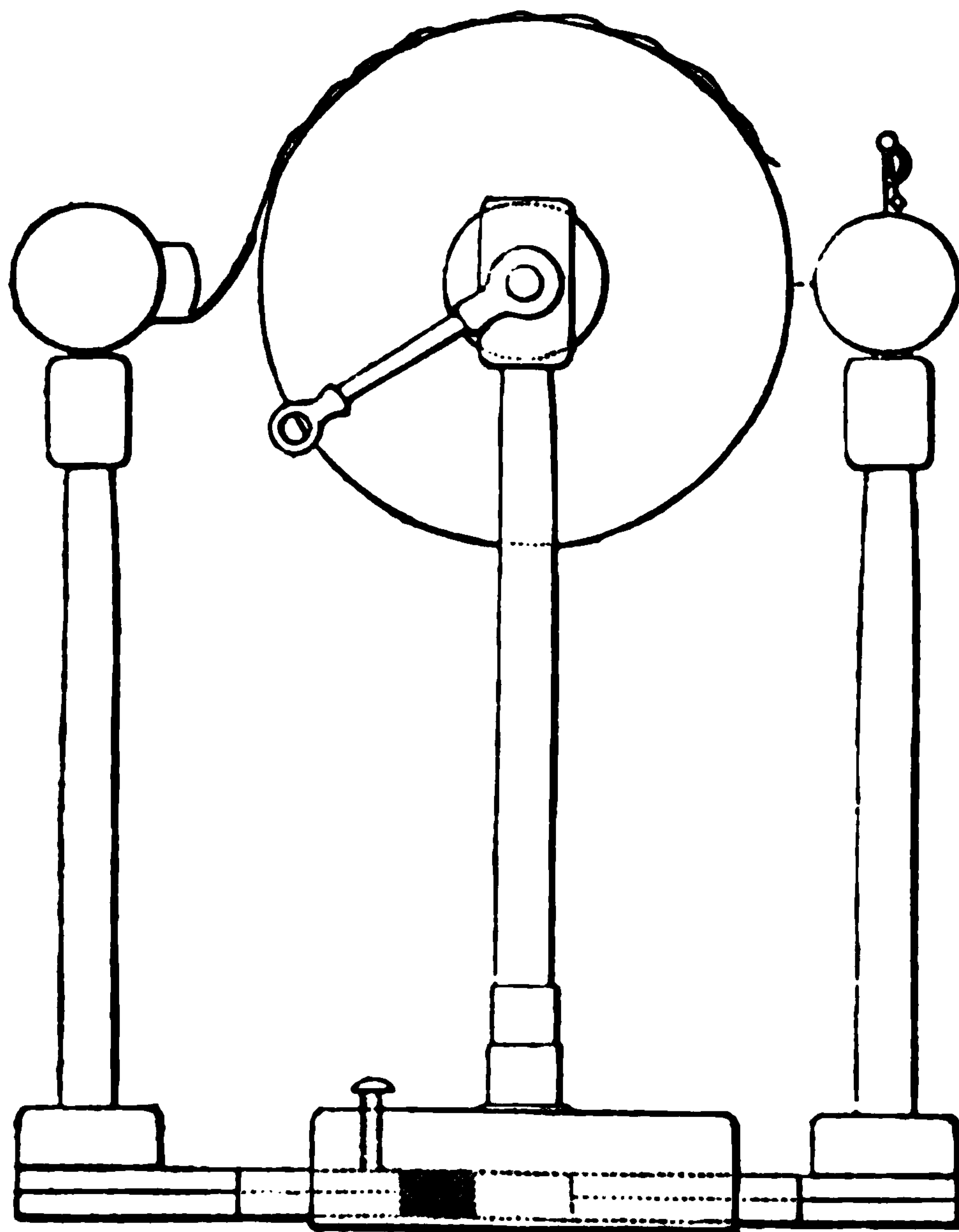
Iitte durchbohrt. Durch dieses Loch geht eine Axe, bei kleinen Ma-
n Holz, bei grösseren von Eisen, worauf auf der einen Seite des
halbkugelförmiges Stück von trocknem hartem Holze fest aufsitzt.
es Stück wird auf der andern Seite des Glases, mittelst eines in die
ittenen Gewindes gegen die Scheibe gepresst, und dadurch diese
eiden halbkugelförmigen Stücken fest eingeklemmt. Beide Stücke
r dem Glase zugekehrten Fläche mit weichem Leder gefüttert. Auch
, bevor man sie aufsetzt, scharf getrocknet und mit Bernsteinfirniss
werden. Als Reiber dienen eben abgeschliffne Messingstreifen, wor-
s, glattes Leder, in welches das Amalgam eingerieben wird, flach
t ist. Je zwei derartige Streifen, in passend hergerichtete, federnde
. 111) so eingeschoben, dass sie die Scheibe von beiden Seiten ein-
ohne doch der Bewegung derselben folgen zu können, bilden ein
Die beiden federnden Arme oder Träger sitzen am Gestelle der Ma-
lenken, so dass sie gegen die Scheibe gedrückt oder auch davon
rden können. Beide sind, nahe dem Umfange der Scheibe, mittelst
s verbunden, das am einen Ende in eine Schraube ausgeht; durch
m der letztern werden beide Reiber zugleich und mit gleicher Stärke
Glasfläche gepresst. Ein mässiger Druck reicht schon hin, um das
er Electricitätserregung zu erzielen. Man pflegt die Reiber halb so
men als den Halbmesser der Scheibe. Ein Zoll Breite genügt. Eine
eite zeigt sich sogar in der Regel als nachtheilig; denn es ist nicht

leicht, das Amalgam über eine grössere Fläche gleichförmig an jeder Punct aber, an welchem keine Reibung stattfindet, bietet den Electricitäten eine Gelegenheit, wieder zu einander überzutreten. Brei fen, indem sie, um mit dem Glase in genügende Berührung zu kom grösseren Druck in Anspruch nehmen, erschweren also den Betrie schine, ohne, selbst im günstigsten Falle, einen entsprechenden Vorth gewähren. Es sind an der Scheibenmaschine gewöhnlich zwei Reibze gegenüberstehenden Enden desselben Kreis-Durchmessers angebra einer Entfernung von 90° von jedem Reibzeuge befindet sich, gewö auf einer Seite der Glasplatte, ein Einsauger von Messingblech von des Reibkissens gleichen Länge. Die äussere Fläche desselben ist nisst, der Rand gegen die Scheibe hin umgebogen und abgerundet, reine Metallfläche ist hohl und mit Spitzen versehen. Von jedem Eins ein Arm zu dem kugelförmigen Conductor. Der Glasfuss des letztere einem Brette, das sich in das Gestelle der Maschine einschieben läs Zweck hat, die Einsauger der Glasscheibe möglichst nahe zu rücken.

Scheibenmaschinen, auf die beschriebene Weise eingerichtet, kön ihres festen Baues in beträchtlicher Grösse ausgeführt werden. Man ben von 20 — 60 Zoll Durchmesser; auch lassen sich zwei neben ei derselben Axe anbringen. Sie haben vor den Cylindermaschinen übe voraus, dass das Glas auf beiden Seiten gerieben wird, wodurch die der entwickelten Electricität gesteigert und ihr Uebergang auf den erleichtert wird. Die Ebne und Glätte der Scheibe gestattet ein inni schmiegen des Reibzeugs und daher bei mässigem Drucke eine voll electrische Erregung. Diese Maschinen sind aber gewöhnlich nur zu bringung von positiver Electricität eingerichtet; die gleichzeitige der negativen Electricität erfordert Isolirung der Reibzeuge, wodurc barkeit leidet.

Die Cylindermaschinen sind immer für die gleichzeitige Gewinn

Fig. 112.



Flüssigkeiten berechnet und lassen sich zu diesem Zwecke mit dem lässig geringsten Kostenaufwande einrichten. Fig. 112 zeigt einen ; einer solchen Maschine in $^1/_{10}$ natürlicher Grösse.

cylinder von 1,5 — 2 Fuss Länge und 12 Zoll Durchmesser dreht a zwei Glassäulen, die seiner Axe zu Stützen dienen. Die cylindri- ictoren auf beiden Seiten desselben und mit ihm gleichlaufend, ha- uss Länge, so dass sie auf der der Kurbel gegenüber liegenden Seite über den Glaskörper hervorstehen. Ihre isolirenden Füsse sitzen rn, die in entsprechende Oeffnungen des Gestelles eingelassen und rückbar sind. Der eine Conductor, zur Aufnahme der + E. bestimmt, gegen den Glascylinder gerichteten Seite mit Spitzen besetzt, der t das Reibzeug. Letzteres besteht aus einem mit Pferdehaaren aus- Lederkissen von gleicher Länge mit dem Glascylinder, dessen son- htung durch die Zeichnung verständlich ist.

ährend des Betriebes einer Cylindermaschine beide Conductoren so zeigen sie beide freie Electricität, aber nur von geringer Stärke, ejenige Gränze der Spannung eintritt, wobei die — E. des Reibzeugs zur + E. des Glases übergeht (314). Verbindet man das Reibzeug iden, so kann sich keine freie — E. darauf erhalten; die + E. des daher einen höhern Grad der Spannung annehmen, bevor sie die langt, sich mit der im Reibzeuge im gebundenen Zustande befind- ichnamigen Flüssigkeit unmittelbar zu vereinigen. Steht der posi- tor in Verbindung mit dem allgemeinen Ableiter, so gibt die an ihm nde Glasfläche beinahe die ganze darauf durch Reibung frei ge- ctricitätsmenge ab, und kommt in einem fast unelectrischen Zu- ler mit dem Reibzeuge in Berührung, daher jetzt dieses, wenn es s Maximum der electrischen Spannung annimmt. Werden beide iso- toren mit einander in leitende Verbindung gesetzt, so zeigt keiner e Spur von freier Electricität.

317. Um electrische Zustände von hoher Intensität, wie sie mit der Electrisirmaschine erhalten werden können, ihrem Grade nach zu bestimmen, gebraucht man gewöhnlich das Henley'sche Electrometer. Es ist ein einfaches, leicht bewegliches Pendel (Fig. 113), das im unelectrischen Zustande senkrecht hängt, so wie sich aber Electricität auf dem Conductor anhäuft, abgestossen wird. Die Grösse der Divergenz misst man an einem Gradebogen, der auf einem Streifen von Glas oder Elfenbein aufgetragen ist. Daher der Name Quadranten-Electrometer. Dieses Werkzeug ist übrigens weniger geeignet um Verschiedenheiten in der Stärke der electrischen zu messen, als vielmehr um dieselben wahrzunehmen Spannungen von gewisser Grösse immer wieder zu

telst des Quadranten-Electrometers erhält man nur ein r die Spannung der auf einem Conductor angehäuften , oder über die Grösse des Bestrebens dieser Flüssigkeit, Körper überzugehen. Die Stärke des electrischen Fun- die Wirkungen der übergehenden Electricität hängen ich von ihrer Spannung und vorhandnen Menge

ab. Ein Massstab für die letztere ist bei übrigens gleicher die Grösse der Oberfläche des Conductors.

Vergrössert man den Conductor, indem man z. B. eine ten oder mehrere isolirte Leiter damit in Verbindung nimmt auch die Electricitätsmenge zu, welche während triebs der Maschine gesammelt und durch den überschl Funken auf einmal entladen werden kann. Weil aber thei die isolirenden Füsse, theils unmittelbar durch die Luft rend Electricität entweicht und weil dieser Verlust bei zu der Spannung ebenfalls zunimmt, so kommt es, dass sel den günstigsten äusseren Verhältnissen eine gewisse Gr leitenden Oberfläche nicht überschritten werden darf, o das Maximum der erreichbaren Spannung und folglich Wirkung des Funkens abnimmt.

Als Regel gilt, dass die Oberfläche des Conductors ni ser sein dürfe, als die geriebene Fläche des Glaskörp gestalt, dass das Maximum der Ladung und Spannung du volle Umdrehung erhalten werden könne. Diese Annahme i durch die Erfahrung nicht mit Sicherheit festgestellt. Ge nur, dass mittelst einer geriebenen Glasfläche von gerin dehnung, ein Conductor von beträchtlicher Grösse durch viele Umdrehungen nicht starck geladen werden kann.

Leidner Flasche. Verstärkte Electricität.

318. Mit Hülfe einer Geräthschaft, welche Fränkli Tafel genannt wird, ist man im Stande, die Capacität eines zu vergrössern ohne gleichzeitige Vergrösserung seine fläche, und folglich ohne Nachtheil für die Intensität der a Oberfläche sich ansammelnden electrischen Flüssigkeit.

Die Fränklin'sche Tafel ist eine dünne Glassch beiden Seiten bis etwa zwei oder drei Zoll vom Rande a mit Zinnfolie belegt. — Man verbinde die eine Belegung dem positiven Conductor einer Electrisirmaschine; freie + sich darauf ansammeln und durch das Glas vertheilend andere metallische Belegung (*B*) einwirken. + E. kann auch von dieser abgeleitet werden, während die früher d einigt gewesene — E. durch die + E. der Belegung *A* g wird. Die electrische Bindung ist aber stets wechselsei auf *A* gesammelte + E. verliert daher, in der Richtung g Conductor hin, ebenfalls einen Theil ihres Repulsionsver Daher neuer Zudrang von + E. von dieser Seite her; Neuem kann auch aus der Belegung *B* ein Funken gezog den, und so fort, bis das auf der Belegung *A* erforderlich die Dicke des Glases bedingte Uebergewicht an freier El

das Maximum der Dichtigkeit, welche dem Conductor an dieser Stelle überhaupt ertheilt werden kann, angenommen hat. Auf der Fränklin'schen Tafel kann also, bei gleicher Flächengrösse eine ungleich grössere Menge von Electricität augehäuft und verdichtet werden, als auf dem Conductor, ohne dass doch ihr Repulsionsvermögen und mit diesem ihr Bestreben zu entweichen sich vergrössert hat. Uebrigens erkennt man zugleich, dass die ganze Menge der auf diesem Wege gesammelten Electricität mit der auf dem Conductor herrschenden electrischen Dichtigkeit in geradem Verhältnisse stehen muss.

Wird die Belegung *B* während des Betriebs der Maschine in leitende Verbindung mit der Erde gesetzt, so müssen die eben beschriebenen Wirkungen in unausgesetzter Folge eintreten. Man bemerkt dann, dass die Belegung *A*, die mit dem Conductor in Berührung steht, anfangs fast alle Electricität desselben aufnimmt, so dass das Henley'sche Electrometer nur einen sehr geringen Ausschlag gibt. Die Spannung steigt aber allmählig und erreicht nach einigen Umdrehungen dieselbe Grösse, welche ohne die Gegenwart der Fränklin'schen Tafel hätte eintreten müssen. Letztere befindet sich dann im Maximum der Ladung. Durch Annäherung eines isolirten Leiters kann man abwechselnd bald aus der einen bald aus der andern Belegung der geladenen Tafel einen Funken ziehen, dessen Stärke dem jedesmaligen Uebergewichte an freier Electricität entspricht. Wird ein guter Leiter, der mit der einen Belegung in unmittelbarer Berührung steht, der andern Belegung genähert, so treten bei einem gewissen Abstande (welcher je nach der Grösse der Spannung verschieden ist), der sogenannten *Schlagweite*, beide angesammelten Electricitäten auf einmal zu einander über. Dieser Uebergang, der *electrische Schlag*, ist von einem weit stärkeren Funken, als ihn der Conductor liefern kann, und einem verhältnissmässig starken Knalle begleitet. Häufig treten beide Flüssigkeiten schon während der Ladung und bevor noch das Maximum der Spannung erreicht ist, plötzlich vollständig zu einander über. Eine solche freiwillige Entladung findet statt, wenn der nicht belegte Rand der Glastafel nicht breit genug, oder unvollkommen trocken, oder aus irgend einem andern Grunde nicht isolirend genug ist.

Der electrische Schlag, wenn er durch den menschlichen Körper geht, bewirkt eine heftige, schmerzhafte, aber nur augenblickliche Erschütterung. Befinden sich mehrere und selbst viele Personen in dem Kreise guter Leiter, durch welchen beide Electricitäten zu einander übertreten, so empfinden sie alle gleichzeitig, hauptsächlich in den Armgelenken, diesen eigenthümlichen Nerveneindruck.

Mittelst des *Ausladers* (Fig. 114) lässt sich die Entladung ; gefahrlos bewerkstelligen. Zwei in Knöpfe ausgehende Me-

Fig. 114.

a b

tallstangen sind bei *a* durch ein verbunden; die Handhabe *a b* gefirnisste Glasstange. Wenn di stangen nicht zu dünn sind, so k sie während der Entladung einei Flasche in die Hände nehmen, ohne befürchten zu müss der Schlag durch den Körper gehe. Denn die Electricitäi len zu ihrem Durchgange immer die besten Leiter, und di leiten viele hunderttausendmal besser als der menschlich

Fig. 115.

Die Leidner Flasche, auch Verstär flasche genannt, (Fig. 115) ist nur eine ve für den Gebrauch bequemere Form der Fränk Tafel. Sie ist innerhalb wie ausserhalb, bis 2 vom obern Rande abstehend, mit Zinnblatt und um die metallische Verbindung mit der in legung zu erleichtern, erhebt sich vom B Flasche eine Metallstange, die oben mit einei versehen ist. Die Grösse der belegten Fläc Leidner Flasche richtet sich nach der Grösse trisirmaschine. Mittelst kräftig wirkenden Maschinen kör schen von 10 und mehr Quadratfuss Belegung vollständi werden. Statt solcher grossen Flaschen verwendet man lich mehrere kleinere, deren äussere Belegungen sämmtli Erde in Verbindung stehen, während die zu den inneren Be führenden Drähte zu einem einzigen leitenden Systeme sind. Eine derartige Verbindung mehrerer Flaschen v electrische Batterie genannt.

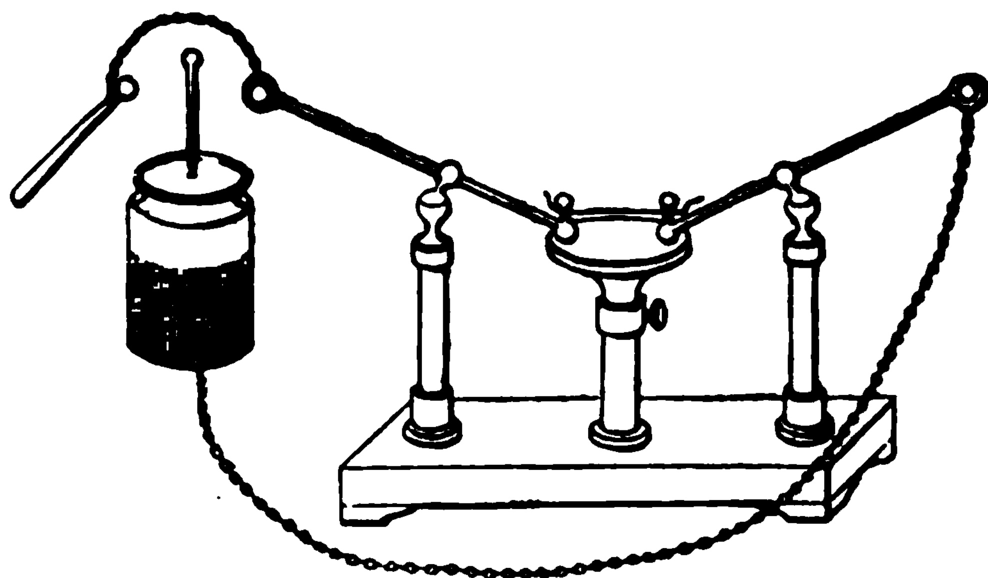
319. Die Wirkung des Schlags einer stark geladene schen Batterie, oder auch nur einer grossen Flasche, thierischen Organismus ist äusserst heftig und kann selb lich werden. Kleinere Thiere werden dadurch getödtet. D kommnere Leiter als den menschlichen Körper, z. B. dur drähte von beträchtlicher Dicke, entladen sich beide E ten ohne irgend eine wahrnehmbare Einwirkung. Dage materielle Mittel, durch dessen Dazwischenkunft ihr U zu einander erschwert wird, ohne doch ganz gehindert w können, erfährt, je nach seiner Leitfähigkeit und sons schaffenheit, eine mehr oder weniger grosse Veränderu physikalischen oder chemischen Zustandes.

Schlechte Leiter, wie trocknes Holz, Papier, Glas, Ha durchbohrt, zerrissen, zersplittert und oft, wie durch ei tende ausdehnende Kraft zersprengt und ihre Theile we geschleudert. Verbrennliche Stoffe können dabei bis zu dung erhitzt werden. Selbst gute Leiter, deren Quersc zu gering ist, um die vorhandene Electricitätsmenge ohne A durchlassen zu können, z. B. sehr dünne Metalldräht

:um Glühen erhitzt, verbrannt. Flüssigkeiten, welche die leiten, z. B. Wasser, Salzlösungen, Säuren, erleiden theil- chemische Zersetzung. In kleinen Mengen in Glasbehäl- schlossen, in die man die Electricitäten durch Metall- ıführt, können sie so stark und so plötzlich ausgedehnt lass sie die Gefässe zersprengen. Die atmosphärische erwärmt und ausgedehnt; entzündliche Gemenge von r Dämpfen entzünden sich.

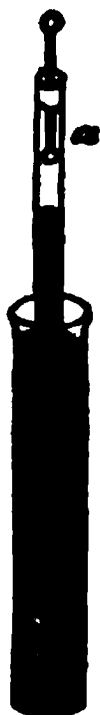
bequeme Geräthschaft, um die Wirkung der electrischen Entladung ırper zu prüfen, ist der Henley'sche allgemeine Auslader :wei Metallstäbe sind auf isolirenden Stützen nach jeder Richtung

Fig. 116.



ıd können mit ihren nach Erforderniss kugelförmigen oder zuge- ın in beliebige Nähe zusammengerückt werden. Zwischen dieselben en Körper. Der eine Stab wird dann mit der äusseren Belegung der che in leitende Verbindung gesetzt, der andere dem Knopfe der um Ueberschlagen des Funkens genähert. Um z. B. Eisendraht zu windet man denselben um beide kugelförmige Enden der Stäbe. ft sich Draht von erforderlicher Dünne durch Eintauchen von Kla- verdünnte Salpetersäure. — Soll eine Glasscheibe durchbohrt wer- man die Stäbe des Ausladers in scharfe Spitzen ausgehen, zwi- die Scheibe gesetzt wird. Leidner Flaschen, deren Glaswände an Stellen ungleiche Dicke haben, werden zuweilen durch Selbst- rchbohrt. Das Loch, welches der electrische Schlag in einer Glas- ta Spielkarten bewirkt, zeigt sich stets, wie wenn es aus der Mitte Aussenflächen aufgerissen sei; insbesondere bemerkt man auf der durchbohrten Spielkarte einen ausgebognen Rand. — Streut tes Colophonium oder Schiesspulver zwischen beide Entladungs- Tischchen des allgemeinen Ausladers, so wird es durch den über- Funken einer stark geladenen Flasche entzündet. Aether lässt urch einen aus dem Conductor gezognen Funken in Flamme giesse zu dem Ende etwas Aether auf Wasser in ein ausserhalb ı, in welches ein von dem Conductor der Maschine ausgehender ingesenkt ist. Nähert man hierauf einen Knöchel, so entzündet der igkeit austretende Funken zuerst den Aetherdampf und dadurch selbst. Wasserstoffgas, gemengt mit Luft oder Sauerstoff, wird ıwächsten durchfahrenden electrischen Funken entzündet. Hierauf kannte electrische Pistole; so wie das Eudiometer von

ır Luft, zumal bei vermindertem Luftdrucke, bewirkt der elec- ıa eine theilweise Erzeugung von Salpetersäure. In dem Glas-


Fig. 117.

rohr *a*, dessen unteres offenes Ende über Quecksilber ist, befindet sich etwas durch Lackmus gefärbtes Wa Lösung von Aetzkali. Das obere Ende ist luftdicht ver von einem Metalldraht durchsetzt, der mit einem vergo endigt. Lässt man durch diesen Letzteren während meh einen Strom von Funken in die Flüssigkeit übertreten, sich das Luftvolum und die blaue Flüssigkeit wird roth die Kalilauge, wie Cavendisch zuerst gezeigt hat, haltig. Diese Bildung von Salpetersäure geht um so sch je mehr man durch Hervorheben des Rohrs aus dem behälter die eingeschlossne Luft verdünnt hat.

Der Widerstand, den die Luft dem überspringende gegensetzt, vermindert sich bei abnehmender Dichtig dergestalt, dass in einem Raume, worin man die Luft Schlagweite, nämlich die Entfernung, bis zu welcher de übergeht, zunimmt.

Wenn man aus einem Glascylinder von beliebiger beiden Enden durch Metallplatten hermetisch geschloss so weit auszieht, als es mittelst einer guten Luftpump so strömt die Electricität vom einen Ende zum andern derstand zu finden und unter Entwicklung eines matt Lichtes, das den ganzen inneren Raum zu erfüllen scheint. Man s leere Raum leite die Electricität. Durch die von Luft ganz freie B bewegt sich die Electricität mit derselben Leichtigkeit, aber unte eines grünlichen Lichtes, das man dem Erglühen von Queck zuschreibt.

Condensator.

320. Wenn man zwei dünne, ebne Glasplatten, je einer Seite, mit Stanniol überzieht und dann die beiden u Flächen auf einander legt, so erhält man einen der Fr Tafel ganz ähnlichen Apparat, der, wie jene, mit beiden ten geladen und durch gleichzeitige Berührung beider wieder entladen werden kann. Trennt man nach Ladung beide Glasscheiben isolirt und ohne vorher i schen Ueberzüge in leitende Verbindung zu bringen, die auf ihnen verdichteten Electricitäten frei und kö jede für sich geprüft werden.

Diese Geräthschaft wird Condensator (Electricit ter) genannt. Die verdichtende Kraft des Condensator bedeutender, je geringer die Dicke der zwischen bei flächen befindliche Glastafeln (311). Da das Glas hi Isolirungsmittel dient, so kann es auch durch andere z. B. dünne Harzscheiben ersetzt werden. Das einfac eine recht dünne und ebne Harzscheibe zu erhalten, be eine eben geschliffene Metallplatte, heiss, mit Schella überziehen. Die wirksamsten Condensatoren bestehen zwei solchen Metallscheiben, die mit ihren gefirnisst auf einander gelegt werden.

Man pflegt die eine Platte in wagerechter Lage

it zwei Pendeln zu befestigen, und setzt die andere
mit einer isolirenden Handhabe versehen sein
Leitet man nun z. B. + E. auf die untere Platte
latte), während man die obere (die Deckel-
n Finger berührt, so wird der Condensator geladen,
bemerkbare Einwirkung auf das Electrometer.
erauf die obere Platte, so wirkt die ganze angesam-
iehr frei gewordene + E. auf die Goldblättchen.
sator wird hauptsächlich gebraucht, um Electricität,
reichlicher Menge vorhanden, wegen zu geringer
dem Electroscope nicht angezeigt wird, zu ver-
lurch ihre Einwirkung auf das Etectrometer zu ver-
rad der Condensation, der auf diesem Wege erreicht
st für ein gegebenes Instrument nicht willkürlich,
er Dichtigkeit, welche das zu verdichtende Fluidum
besitzt, proportional (318). Die auf der Collector-
fte Electricität beträgt z. B. bei einem gegebenen
s 50fache, bei einem andern das 100fache derjeni-
nenge, welche ohne Mitwirkung der zweiten Platte
te verbreiten können.
cheinen, dass es überflüssig sei, beide Platten mit
zu bekleiden, und dass durch Entfernung des einen
ige, wegen der dadurch verringerten Dicke der
Schicht, die verdichtende Kraft des Condensators
stärkt werden müsse; diess ist jedoch nicht der
r auf der einen Seite mit Stanniol bedeckte Spiegel-
lie Metallfläche nach unten, auf den Tisch gelegt;
eie Seite des Glases setze man ein mit isolirendem
ehene, reine und eben abgeschliffene Messingscheibe.
diese Weise eine dem Condensator ähnliche Vor-
ie, wenn man die Deckelplatte mit dem Conductor
erbindet, geladen werden kann, und dann durch
der metallischen Belegungen, einen der Stärke der
echenden electrischen Schlag bewirkt. Wird die
vor erfolgter Entladung abgehoben, so wird sich
ctricität darin vorfinden, als sie unmittelbar durch
Conductors aufnehmen konnte. Auf die Glastafel
t und mit der unteren Belegung verbunden, erhält
l einen starken electrischen Schlag. Die ganze vom
Maschine abstammende Electritätsmenge war also
n, sie hatte aber, in Folge der anziehenden und bin-
Ihres Gegensatzes in der unteren Belegung, die
grösstentheils verlassen und sich im Glase selbst
urch das Abheben der Deckelplatte konnte daher
orhandene freie Electricität mit entfernt werden. Die
velche sich auf beiden Glasflächen festgesetzt haben,

können bei der Entladung nur theilweise zu einand
ein beträchtlicher Theil wird vermöge des zusam
Einflusses, der nicht leitenden Beschaffenheit des G
wechselseitigen Bindung beider entgegengesetzten
dann zurückgehalten, wenn beide Metallbelegungen i
leitender Verbindung bleiben. Dieser zurückbleibend
so beträchtlicher, je weniger innig die Berührung de
mit der Oberfläche des schlechten Leiters. Gewöhnlic
Princip im Uebergewichte vorhanden, und dadurch d
des andern verdeckt. Auf die in Paragraph 315 beschr
können jedoch beide leicht nachgewiesen werden.

Auch bei der Leidner Flasche bewirkt das Bestreben beid
Flüssigkeiten, einander so nahe wie möglich zu kommen, das
sowohl in den Metallbelegungen als vielmehr auf den Glasfläch
sammeln. Die metallische Hülle, mit der Glasfläche in inniger B
dann gleichsam nur, um im Augenblicke der Verbindung beid
den gleichzeitigen Abfluss der Electricität, von allen Puncten, w
gesetzt hatte, zu vermitteln. Der Rücktritt beider Flüssigkeiten
geht gleichwohl nicht ohne Widerstand vor sich und so erklä
die vollständige Entladung der Leidner Flasche immer eine ge
Zeit erfordert, während der beide Belegungen in Berührung
Daher findet man fast immer, dass die auf gewöhnliche Art en
noch eine zweite schwächere Ladung und zuweilen selbst noch
vierte enthält.

Electrophor.

321. Der Electrophor oder Electricitätsträger i
Principe nach mit dem Condensator und der Fränklin
verwandte Geräthschaft. Er besteht aus drei wesentlic
einer möglichst dünnen und ebenen Harzscheibe vo
Durchmesser, dem Kuchen, einer metallischen U
Form oder der Teller genannt, und einer metallisch
platte mit isolirendem Handgriffe.

Harz in trockner Luft behauptet den electrischen Z
Zeit mit fast unveränderter Stärke. Wird eine unele
isolirte Metallplatte auf eine electrische Harzscheibe
gleich wieder abgehoben, so bleibt sie unelectrisch. Di
des Harzes wirkt gleichwohl vertheilend auf die im M
türlichen Zustande vorhandenen Electricitäten. Berüh
die Deckelplatte mit dem Finger, so geht das gleichar
fort, das ungleichartige wird gebunden und kann dan
nehmen des Deckels ebenfalls in den freien Zustand v
den. Dieser Versuch lässt sich beliebig oft mit stets
folge wiederholen. Der Kuchen des Electrophors biet
rend einiger Zeit (so lange ihm seine electrische Be
nicht durch äussere Einflüsse entzogen worden) einen
quell von unveränderter Stärke, welcher in jedem

;ung steht. Dieser Quell würde aber ohne die Mitwirkung s wenig ergiebig sein.

der Harz-Kuchen mit einem trockenen Fuchsschwanze enpelze gerieben wird, beginnt die auf seiner Oberfläche te — E. das electrische Gleichgewicht der Metall-Unter-ören; — E. fliesst in den Boden ab, + E. wird gebunden, ihrerseits einen Theil der an der Oberfläche des Harzes en erregten — E. Die letztere verliert dadurch von ihrer eit nach Aussen und hängt fester an dem Harze. Durch tes Reiben können daher neue Electricitätsmengen erzeugt m Kuchen, weit über diejenige Gränze hinaus, welche Mitwirkung des Tellers zu erreichen vermag, ange-den.

und nach, sogar schon während des Reibens, wird die iche des Kuchens selbst positiv electrisch und in dem s, als es geschieht, verschwindet der positiv electrische er Form.

telle ein kleines Electrophor auf die Metallplatte eines ps. Unmittelbar wird keine Einwirkung auf das letztere sein. Der Deckel, in unelectrischem Zustande auf den n gesetzt und isolirt wieder entfernt, bleibt unelectrisch. man aber den Deckel, während er auf dem Kuchen inem zweiten Electroscop, so divergiren die Pendel des nit — E. Wird diese — E. in den Boden abgeführt, so freie + E. in dem Teller, während eine verhältnissmäs-e des gleichartigen Fluidums in der Deckelplatte gebun-Diess ist nun die Gränze der Ladung, welche der oberen e Beihülfe einer gut leitenden Unterlage ertheilt wer-

eite man die in dem Teller frei gewordene + E. in den die Pendel des zweiten Electroscops werden von Neuem livergiren, und durch Ableitung derselben verstärkt sich re Ladung des Deckels, während die Form wieder mit behaftet erscheint. Dieser Versuch lässt sich mehrmals mit dem Erfolge wiederholen, so lange bis die Menge der in el gebundenen + E. der bindenden Kraft, der ganzen arzfläche durch Reiben erzeugten — E. entspricht und g die in der unteren Fläche des Kuchens fixirte + E. lung einer verhältnissmässigen Menge von — E. der chäftigung gefunden hat. Nach vollendeter Ladung er-her der Deckel des Electrophors mit + E., der Teller Kuchen isolirt entfernt) mit — E., wiewohl in schwä-de, geladen.

arzkuchen nimmt man gewöhnlich 8 Theile Colophonium, 1 Theil d 1 Theil venetianischen Terpentin, welche durch Schmelzen ver-ch flüssig in den Teller, der zu diesem Zweck mit einem 2 — 3 stehenden Rande versehen ist, eingegossen werden. Kuchen, die

auf dem Teller frei aufliegen sollen, können aus Schellack, mit 10 l pentin vermischt, angefertigt werden. Sie sind isolirender. Dem l man einen geringeren Durchmesser zu geben, als dem Kuchen, w dem Abheben der Funke leicht auf die Form überspringt.

Der Condensator und der Electrophor sind Erfindungen Volta's.

Gesetze der electrischen Anziehungen und Abst

322. Die geringe Beständigkeit electrischer Zustä sondere die Schnelligkeit, womit freie Electricität Leitern auch bei der zweckmässigsten Isolirung entwe eine scharfe Messung der Grösse electrischer Einwirl einer höchst schwierigen, bis jetzt nur unvollkomme Aufgabe. Was hierüber bekannt ist, reicht gleichwo über die Gesetze, nach welchen die Wirksamkeit der f tricität sich richtet, keinen Zweifel zu lassen. So ha funden:

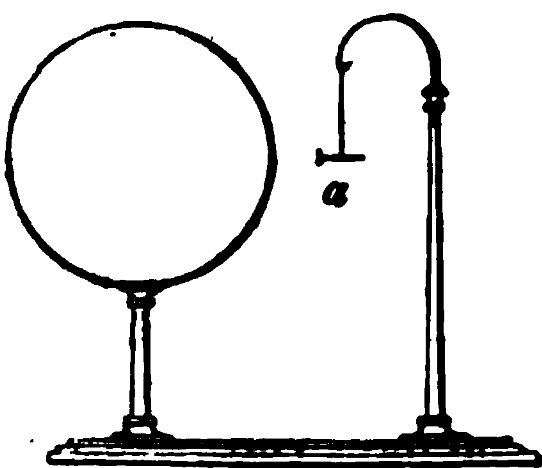
1. Die Stärke der Abstossung gleichartiger, so w Anziehung ungleichartiger electrischer Kräfte, steht i ten Verhältnisse des Quadrates der Entfernung ihre puncte.

2. Die Wirkungen eines electrischen Körpers sind tricitätsmengen proportional, womit er behaftet ist.

3. Die Stärke der wechselseitigen Anziehungen o sungen zweier mit Electricität behafteten Körper, stel verändertem Abstande im zusammengesetzten Verhä auf beiden Körpern vorhandenen Electricitätsmengen.

Die von den electrischen Körpern ausgehenden Kr sich also hinsichtlich der Intensität ihrer Wirksamkeit ähnlichen Gesetzen wie die magnetischen Kräfte.

Fig. 118.



323. Das einfachste und do eines der genauesten electrisc werkzeuge ist die electriscl Sie besteht aus einem sehr dünn Zoll langen Stäbchen von Schell 118), das an einem einzigen (wagerecht aufgehängt ist und Ende ein sehr leichtes, kreisrun blättchen oder eine kleine S Goldpapier trägt. Wenn ma Scheibchen Electricität mittheilt, so wird es von and schen Körpern, je nachdem sie mit dem gleichnamig gleichnamigen Fluidum behaftet sind, abgestossen od gen. Die Nadel, aus ihrer Ruhelage gebracht, beginn schwingen. Aus der Zeit, welche zur Vollendung eine Anzahl Schwingungen nöthig ist, lässt sich dann d Stärke der Einwirkung (auf ähnliche Weise, wie frühe

ıgnetischer Kräfte aus den Schwingungen der Magnet-
:hnen. — Wegen der Kleinheit und Dünne des Scheib-
man seinen Mittelpunct als gemeinschaftlichen An-
ler in ihm thätigen electrischen Kräfte annehmen.

dieser Vorrichtung hat zuerst Coulomb die obigen Gesetze ex-
prüft. Er stellte eine isolirte Kugel von Metallblech, oder auch
t Metallpapier überzogen, so der Nadel gegenüber, dass wenn
Ruhelage war, die gerade Linie, welche ihren Aufhängepunct mit
:te der Scheibe verband, zugleich durch den Mittelpunct der Ku-
etztere hielt 12 Zoll im Durchmesser; ihr Fuss war auf einem,
lten Brette in gerader Linie verrückbar, wodurch es möglich
bstand von der Nadel beliebig zu verändern.

wurde Electricität von der einen Art, der kleinen Scheibe von
mitgetheilt. Die Menge, welche die letztere erhielt, musste aber
:n so viel betragen, als durch Vertheilung möglicher Weise in ihr
werden konnte. Um diesen Zweck sicher zu erreichen, rückt
ische Kugel etwas näher zu dem Pendel hin, als sie später wäh-
ıchtungen stehen soll, und berührt das Scheibchen einen Augen-
n Leiter. Die Kugel wurde dann in thunlichst kurzer Zeit in ver-
ände zu der Nadel gebracht, und in jeder dieser Stellungen die
se Anzahl Schwingungen erforderliche Zeit gemessen.

Versuchsreihe z. B. fand Coulomb, dass wenn die Entfernung
:tes der Kugel vom Mittelpuncte der Scheibe von anfänglich
ınd 24 Zoll vergrössert wurde, die zu je 15 Schwingungen er-
eiten, 20 Secunden, 41 und 60 Secunden betrugen. Die Quadrate
lie Zahlen 400, 1681 und 3600, verhalten sich fast wie 1 : 4 : 9;
n der Anziehung, welche den Quadratzahlen der Schwingungs-
hrt proportional sind (148), waren daher (die beim ersten Ver-
eit gleich gesetzt), 1 : $\frac{1}{4}$: $\frac{1}{9}$. Diesen Kräften müssen nun, wenn
ctrischen Wirkungen bei zunehmender Entfernung in quadrati-
nisse abnehmen, Abstände zugehören, die sich wie 1 : 2 : 3 ver-

natürliche Folge der regelmässigen Gestalt eines kugelförmigen
ie demselben ertheilte Electricität sich ringsum auf ganz gleich-
ausbreiten muss, d. h. an verschiedenen Stellen der Kugel, die
ıstände vom Mittelpuncte liegen, herrschen ganz gleiche elec-
Der Mittelpunct muss daher der gemeinschaftliche Angriffspunct
ziehenden Kräfte seyn; wenn nämlich ihre Wirksamkeit bei zu-
fernung nach demselben Gesetze abnimmt wie die Schwere.

:r Abstand des Mittelpunctes der Scheibe von dem der Kugel bei
rsuche 9 Zoll; beim zweiten sollte er hiernach 2 . 9 = 18, beim
: 27 Zoll seyn. Nur bei dem dritten Versuche zeigte sich eine
chiedenheit. Die Nadel durfte um 15 Schwingungen in 60 Secun-
egen nur 24 Zoll entfernt stehen. Allein dieser dritte Versuch
:t angestellte; bis dahin war bereits ein Theil der Electricität
In der That würde z. B. eine Wiederholung des ersten Versuches
ıg des dritten, nicht mehr dasselbe Resultat liefern, als anfäng-
ı Abstand würden 15 Schwingungen mehr als 20 Secunden Zeit

igkeit der Schwingungen hängt also nicht blos von der Grösse
ab, sondern auch von der Stärke der Ladung beider einander
nden electrischen Körper. Um zu erfahren, wie viel jeder dazu
re man die electrische Kugel, ohne ihren Abstand vom Pendel
einer andern nicht electrischen, von durchaus gleicher Grösse
heit, und ebenfalls isolirt. Es ist klar, dass beide sich in die vor-
citätsmenge theilen werden. Hatte nun die Nadel die Zahl von

15 Schwingungen vorher in 20 Secunden vollendet, so wird sie jetzt die Kugel die Hälfte ihres Vorraths an freier Electricität verloren hat cunde dazu bedürfen. Die Intensitäten der Einwirkung in beiden F halten sich also umgekehrt wie $(20)^2 : (28,5)^2 = 400 : 812$; d. h. wi

Entzieht man der kleinen Scheibe die Hälfte ihrer Electricität, i sie einen Augenblick mit einer andern von gleicher Grösse und gleic die ebenfalls in der Mitte an einem Schellackstäbchen befestigt ist, rung bringt; so findet man, unter Voraussetzung, dass die Kugel von fänglichen Vorrathe nichts eingebüsst hatte, dass sich die Stärke d kung wie vorher um die Hälfte vermindert hat.

Zu der Gesammtstärke der wechselseitigen Anziehung zweier ung electrischen Körper betheiligen sich alsô beide in ganz gleicher W nämlich in geradem Verhältnisse zur Electricitätsmenge, womit er b Bezeichnet man mit s und s′ die absoluten Mengen von Electricität zı per, mit d die Entfernung der Mittelpuncte ihrer Wirksamkeit, so ist dieser Wirksamkeit dem Ausdrucke $\frac{s\,s'}{d^2}$ proportional zu setzen.

Aus den Schwingungen der kleinen Nadel lässt sich auf ähnliche Folgerung ziehen, dass die Abstossung gleichnamiger Electricitäten drucke $\frac{s\,s'}{d^2}$ proportional ist. Zu dem Ende muss das Scheibchen in lage von der Kugel abgewendet seyn; man ertheilt letzterer Elect gewisser Art und gibt dann dem Scheibchen, indem man es einen mit der Kugel in leitende Verbindung setzt, dieselbe electrische Bes

Zur Auffindung oder vielmehr zur experimentellen Begründung d der electrischen Einwirkungen hat Coulomb mit gleichem Erfolge Drehwage benutzt (Biot traité de phys. II. 224). Seine Versuche si vielfach wiederholt und bestätigt worden.

324. **Electrometer.** Der Name Electrometer kann gleichem Rechte jeder zu electrischen Messungen ge Vorrichtung gegeben werden; gewöhnlich versteht m darunter eine dem Electroscope mit zwei Pendeln ähnlich schaft, die sich von jenem eigentlich nur dadurch unter dass ein Gradebogen daran angebracht ist, um die Gr Ausschläge zu messen.

Um die Anzeigen des Electrometers vergleichbar zu gibt es kein anderes brauchbares Mittel, als vergleiche suche. Diese können z. B. auf folgende Art angestellt Eine grosse, etwa 12 Zoll im Durchmesser haltende, isoli wird mässig stark electrisirt. Bringt man damit ein Metall von nur 5 Linien Durchmesser, welches mittelst eines la dünnen Schellackstäbchens isolirt ist, in Berührung, so w selben von dem gleichnamigen Fluidum mitgetheilt. Di such kann oft wiederholt werden, ohne dass die Kugel me durch verliert. Das isolirte Blättchen, nachdem ihm die vo getheilte Electricität entzogen worden, empfängt also bei e Berührung mit der Kugel, eine gleiche Menge immer wie

Wenn man die kleine isolirte Scheibe in die Mitte de meterplatte setzt, so verliert sie ihren Gehalt an electrisc sigkeit fast bis auf die letzte Spur; ein Versuch der mit Erfolge sehr oft wiederholt werden kann. Hierdurch ist

ıen, proportionale Mengen von Electricität auf das
r zu übertragen. Indem man den jedesmal erfolgenden
bemerkt, lässt sich dann wieder rückwärts auf den
'eier Electricität schliessen, der durch irgend äussere
dem leitenden Systeme des Instrumentes angehäuft
ı hat auf diesem Wege gefunden, dass Ausschläge der
r-Pendel von nur wenigen Graden den mitgetheilten
mengen proportional sind. Erfolgt z. B. ein Ausschlag
muss in dem leitenden Systeme 8mal so viel Electri-
:en seyn, als wenn die Divergenz nur 1° betragen
tärkeren electrischen Anhäufungen bleibt die Zunahme
lags hinter derjenigen der mitgetheilten Electricitäts-
ck.

ach den vorhergehenden Erörterungen einleuchtend,
ıt des Electrometers unmittelbar nicht die electrische
;emessen wird, sondern die Menge Electricität, welche
d welche Ursache in den Pendeln frei geworden ist.

ine isolirte electrische Kugel in der Nähe des Electrometers auf-
vertheilend auf die im natürlichen Zustande befindlichen Elec-
elben. Das ungleichnamige Fluidum wird angezogen und gebun-
ältnissmässige Menge des gleichnamigen wird frei und treibt die
ıander. Der Ausschlag betrage z. B. 6°. Man berühre die Kugel
rn von gleicher Grösse und Beschaffenheit und entziehe ihr da-
te ihrer Electricität. Der Ausschlag wird sich bis auf 3° vermin-
reise, dass jetzt in den Goldblättchen nur noch halb so viel freie
ırhanden ist, als vorher.

setz zu erkennen, nach welchem die vertheilende Kraft der freien
l zunehmender Entfernung sich vermindert, stelle man in einigem
der grossen isolirten Kugel eine kleinere von höchstens 1 Zoll
ıo auf, dass ihre Mittelpuncte in gleicher Höhe liegen. Man theile
Electricität von der einen oder andern Art mit und berühre dann
nen Augenblick mit dem Finger. Ungleichnamige wird gebunden,
e kann durch Uebertragung auf das Electrometer gemessen wer-
lt man hierauf den Abstand der Mittelpuncte beider Kugeln, ohne
en Zustand der grössern zu ändern, so vermindert sich die Elec-
ıe in der kleinern gebunden werden kann, auf $\frac{1}{4}$ der früheren
er Ausschlag des Electrometers, unter ähnlichen Umständen wie
$\frac{1}{4}$ so gross.

:te III. zeigt die vordere Ansicht eines Goldblatt-Electrometers in
Grösse. Das viereckige Glasgehäuse ist aus Spiegelplatten ge-
an den Kanten verkittet und oben und unten durch Messingkap-
gehalten sind. Der Gradebogen ist auf einem Papierstreifen auf-
auf der vorderen Glasplatte mit Mundleim befestigt. Er bildet ein
reises, dem der Aufhängepunct der Pendel, oder richtiger die
ses Punctes auf die Glasfläche, als Mittelpunct zugehört. Ein
liesen Punct lothrecht abwärts auf das Glas gezogener Diamant-
hneidet den Nullpunct der Scala. Er dient, um während der Be-
n Auge die richtige Stellung zu geben. Um mit diesem Instru-
:hbare Beobachtungen erhalten zu können, darf der Gradebogen
den Pendeln stehen, das Auge muss man aber so weit entfernt
irgend die deutliche Sehweite erlaubt. Immer bleibt das Electro-
f der Schärfe seiner Anzeigen hinter der electrischen Nadel und
weit zurück. Dagegen besitzt es den Vorzug, dass die damit an-

gestellten Messungen eine grössere Anschaulichkeit gewähren; u
daher mehr zu Vorlesungs-Versuchen. In der Bodenplatte des
befindet sich ein Loch, das zu dem Innern einer Schieblade füh
einige Stücke Chlorcalcium befinden. Dadurch wird die die Goldl
gebende Luft trocken erhalten. Es ist diess sehr wesentlich, weil
trische Fluidum an dem Rande dieser langen und schmalen Goldst
am stärksten verdichtet und von hier aus am leichtesten entweich

Vertheilung freier Electricität im Ruhezust

325. So oft einem isolirten Leiter Electricität, wenn
telbar nur von einer einzigen Stelle entzogen oder mitg
vermindert oder vermehrt sich gleichwohl an jeder S
Oberfläche die Dichte der darauf verbreiteten electrisch
keit, und zwar überall auf proportionale Weise. Ist z. B
die Hälfte des vorhandenen Fluidums fortgegangen,
die Dichte desselben an jeder Stelle um die Hälfte ver

Ein beliebig gestalteter isolirter Leiter werde mit Electricitä
die Wirkung derselben auf die Nadel oder auf das Electrome
festen Abstande gemessen. Mit diesem Leiter bringe man hierauf
noch unelectrischen von ganz gleicher Gestalt und Beschaffen
analogen Stellen, in Berührung. Es ist einleuchtend, dass unte
ständen der Vorrath an freier Electricität sich gleichmässig auf
vertheilen muss. Man entferne den zweiten und messe bei unver
des ersten seine electrische Wirksamkeit. Sie zeigt sich nur halb
vorher. Da nun die Wirkungen der Electricität nicht bloss von de
Menge, sondern auch von dem Abstande des gemeinschaftlichen A
sämmtlicher thätigen Kräfte abhängen, so folgt, dass die Lage d
sich nicht geändert hat, indem dem Körper ein Theil seines elec
dums entzogen wurde; oder mit andern Worten, es folgt hie
Dichtigkeit der Electricität an jeder Stelle des Leiters auf propor
vermindert worden ist.

Jedes electrische Theilchen, womit ein Körper behaftet ist, wir
auf die gleichnamige electrische Flüssigkeit in seiner Umgebung
ungleichnamige anzuziehen und sich damit zu verbinden strel
einer Stärke, welche dem Quadrate des Abstandes verkehrt pr
Auf einen beliebig gewählten Punct eines electrisirten Leiters
eine electrisch vertheilende Kraft, deren Stärke gleich ist den R
Einwirkungen aller auf diesem Körper verbreiteten electrische
Bedingung des Gleichgewichts erfordert demnach, dass in jede
selben gerade so viel von dem gleichnamigen Fluidum angel
durch die von allen andern Puncten her einwirkenden vertheilend
ausgeschieden werden können. Ist an irgend einer Stelle bereits
den, so verbreitet sich dieser Ueberschuss über andere Theile d
weniger da, so findet Zufluss Statt, dergestalt, dass nach eingetr
zustande sich freie Electricität nur von einer Art vorfinden kann,
jedem Puncte des Leiters in solcher Menge, als der Resultante
kungen aller übrigen vorhandnen' electrischen Theile auf dies
spricht. Jede Zunahme oder Abnahme der electrischen Dichtigke
gleichmässig an allen Puncten der Leiter eintreten.

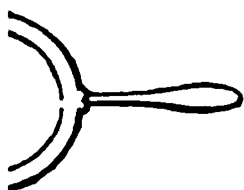
326. Die Electricität verbreitet sich auf Leitern v
Gestalt und Grösse, von welcher sonstigen Bescha
seyn mögen, auf ganz gleiche Weise. Berührt man z

ehaftete Kugel von Metallblech mit einer andern nicht von gleichem Durchmesser, so verliert sie gerade die Electricität, mag nun die zweite Kugel ebenfalls hohl die Materie ihrer Oberfläche dieselbe oder eine andere hr innerer Raum Metall, oder Holz, oder Wasser, oder l einen Leiter enthalten. Dasselbe Verhalten findet statt des kugelförmigen ein beliebig geformter elecer mit einem andern unelectrischen von gleicher Gean analogen Stellen, in Berührung gebracht werden, beide von gleichem oder verschiedenem Stoffe, hohl seyn, nur müssen beide die Electricität leiten. Man s schliessen: 1) dass die wägbare Materie der Körper tricität, welche sie enthalten, nicht die geringste anaft oder irgend sonst eine Wirksamkeit äussert; 2) Leitern mitgetheilte freie electrische Flüssigkeit sich Oberfläche verbreitet.

re andere Erscheinungen beweisen, dass die freie Electricität im er nicht verweilen kann.

gkugel von 3—4 Zoll Durchmesser, isolirt und mit Electricität s sie eine deutliche Wirkung auf das Electroscop hervorbringt, it zwei hohlen Halbkugeln von etwas grösserem Durchmesser (Fig. 119), die an isolirten Stielen gefasst werden und, zusammengestossen, die Kugel ganz umschliessen, setze die innere mit der äusseren Kugel einen Augenblick in Berührung und entferne dann die Halbkugeln bei sorgfältiger Vermeidung jeder weiteren Verbindung mit dem eingeschlossenen Leiter. Letzterer verliert dadurch den electrischen Zustand so vollständig, wie wenn er mit dem allgemeinen Ableiter in Verbindung gestanden hätte; das ihm entzogene Fluidum findet sich jedoch auf der leitenden Hülle, womit man ihn umgeben hatte.

19.



Pendel, welche in der innern Höhlung eines isolirten Leiters eingeschlossen sind, aber mit der erbindung stehen, geben, selbst durch die stärkste Ladung, die er ertheilen kann, keinen Ausschlag. Werden sie aber, bereits Zustande, durch eine passende Oeffnung eingesenkt, so fallen enblicke zusammen, da die leitende Verbindung mit der Oberllt ist.

icität im Innern eines Leiters erfährt eine Abstossung von allen etzt nun, diese Einwirkungen halten einander in Beziehung auf unct *a* im Innern nicht das Gleichgewicht (oder ihre Resultirende so kann auch die in *a* etwa befindliche freie electrische Flüssigihe bleiben. Ist der Punct von jeder Richtung her einer gleich schen Einwirkung unterworfen, so kann die in demselben vorlcität wegen der wechselseitigen Abstossung ihrer Theile gleich-Ruhe kommen, ihre Fortbewegung müsste denn durch Leitungserhindert werden. Besteht ein leitender Zusammenhang mit der muss sich alle auf die inneren Theile übertragene Electricität Jeder Punct im Innern befindet sich daher nach eingetretenem im natürlichen electrischen Zustande, so gross immerhin die an angehäufte Menge electrischer Flüssigkeit seyn mag.

327. Die freie Electricität würde sich selbst an der Oberf
Leiter nicht ansammeln können, wenn sie nicht durch de
stand der Luft verhindert würde, sich weiter zu bewegen
nehmender Luftdichtigkeit vermindert sich die Summe wid
der Theilchen; in verdünnter Luft haftet daher die Electri
weniger leicht und im leeren Raume gar nicht an der O
der Leiter. Eine unter der Luftpumpe isolirte Kugel von
blech verliert die ihr mitgetheilte Electricität, sowie d
bende Luft entfernt wird (119).

328. Ein electrisches Theilchen an der Oberfläche ei
pers wird von allen gleichartigen Theilchen, die über
fläche desselben Körpers verbreitet sind, abgestossen, v
mit einer Stärke, die im umgekehrten Verhältnisse zum
der Entfernung steht. Diese verschiedenen Einwirkunge
nicht alle in gleicher Richtung stattfinden können, he
theilweise auf, zum Theile aber auch ergänzen sie sich
gemeinschaftlichen Wirkung, normal (winkelrecht) ge
jenige Stelle der Oberfläche, an welcher das in Betrach
zogene Theilchen haftet. Gelangen an dieselbe Stelle
Theilchen, d. h. erhält die electrische Flüssigkeit dase
grössere Dichte, so ist die resultirende Abstossung der
vorhandener Theilchen, oder der **Dichtigkeit** an dem b
ten Puncte proportional. Aber gleichzeitig mit der zune
Dichte an einem Puncte der Oberfläche vergrössert sich
portionale Weise die Abstossung gegen jedes einzelne T
an diesem Puncte, denn die Dichtigkeit der Electricität k
nicht an einer Stelle eines Leiters vermehren, ohne sich
und auf proportionale Weise an allen andern Stellen dess
vermehren (325). **Der Druck der ruhenden Elec
gegen sich selbst und ihre nicht leitende Umg
oder diejenige bewegende Kraft, welche elec
Spannung oder Tension (301) genannt wird, ist
jeder Stelle eines electrisirten Leiters dem Quad
electrischen Dichtigkeit an dieser Stelle propor**

Bei der atmosphärischen Luft verhält sich die Spannung (das E
vermögen der Theile) wie die Dichtigkeit. Bei den electrischen Flü
ändert sich, wie man nunmehr sieht, die Spannung in einem weit
Verhältnisse als die Dichtigkeit; der doppelten Dichtigkeit z. B. ents
vierfache, der dreifachen Dichtigkeit eine neunfache Spannung u. s.

Die Divergenzen der Electrometerpendel entsprechen, wenigstens
Bögen, den Dichtigkeiten der mitgetheilten Electricität und dürfe
nicht der electrischen Spannung proportional gesetzt werden.

Wenn zwei isolirte kugelförmige Leiter mit Electricität von glei
tigkeit beladen sind, so verhalten sich die Mengen dieses Fluidums
Körpern wie ihre Oberflächen, also wie die Quadrate der Halbmesse
stossung, welche ein electrisches Theilchen an der Oberfläche ei
durch alle übrigen zu erleiden hat, verhält sich wie die ganze vorha
tricitätsmenge und verkehrt wie das Quadrat des Halbmessers (wei
kung der um die Kugeloberfläche vertheilten Electricität gerade so

nde sich die ganze Menge derselben im Mittelpuncte vereinigt). Die elec- sche Spannung auf kugelförmigen Leitern von ungleicher Grösse, aber bei cher Dichtigkeit des auf ihren Oberflächen vertheilten Fluidums ist folglich ich, so wie es vorher schon im Allgemeinen bewiesen worden war.

329. Zwei isolirte Leiter in Berührung bilden ein einziges tendes System. Aus jeder Veränderung der electrischen Dich- keit auf der Oberfläche des einen, ist man daher berechtigt, auf e proportionale Veränderung auf der Oberfläche des andern en Schluss zu ziehen. Z. B. auf das Electrometer werden durch e unmittelbare Berührung mit einem electrischen Körper Elec- citätsmengen übertragen, welche den auf dem Körper selbst thaltenen Mengen proportional sind.

Ist der eine von beiden isolirten Körpern ein kreisförmiges heibchen vom dünnsten Metallblech und von nur 5 — 7 Linien rchmesser, und bedeckt man damit irgend eine Stelle der Ober- läche eines Leiters von verhältnissmässig sehr grossem Umfange, befinden sich die auf dem letzteren vertheilten electrischen äfte, zu dem Scheibchen wesentlich in derselben Beziehung, e zu der Stelle, welche es bedeckt; der electrische Zustand, n das erstere annimmt, muss daher von der Grösse derselben ectrischen Kraft abhängig seyn, die aus der gemeinschaftlichen irksamkeit sämmtlicher vorhandenen electrischen Kräfte gegen e Berührungsstelle hervorgeht. Das Scheibchen, von dem Kör- er, den es berührte, wieder getrennt, wird also eine Electricitäts- menge aufgenommen haben, die der Dichtigkeit an der Berührungs- stelle um so sicherer proportional gesetzt werden darf, je mehr an die Bedingung festgehalten hatte, dass die Fläche des Scheib- chens nur einen verschwindend kleinen Theil vom Umfange des örpers ausmacht.

Ein solches Scheibchen, mittelst eines langen und dünnen täbchens von reinem Schellack isolirt, kann daher als Hülfsmittel enen, die Dichtigkeit der Electricität an verschiedenen Puncten r Oberfläche eines Leiters zu prüfen. Der Name Prüfungs- scheibe, den Coulomb dieser kleinen Vorrichtung gegeben hat, ist hierdurch gerechtfertigt.

330. Die Art, wie sich freie Electricität auf einem isolirten und äusseren Einflüssen entfernt stehenden Leiter vertheilt, hängt r von der Gestalt seiner Oberfläche ab. Eine gleichförmige theilung findet nur auf der Kugeloberfläche Statt. Auf anders stalteten Körpern häuft sich die Electricität, womit sie beladen en, an verschiedenen Stellen ungleich dicht an. Sind z. B. Kugeln in Berührung, so zeigt sich in der Nähe der Berüh- stelle auf beiden die geringste Dichtigkeit, die grösste aber n entgegengesetzten Puncten. Sind beide von ungleicher e und vergleicht man mittelst der Prüfungsscheibe ähnlich ne Stellen derselben, so findet man immer auf der kleineren össere electrische Anhäufung. Je kleiner eine Kugel ver-

hältnissmässig zur andern ist, je mehr wächst das Ver
electrischen Dichtigkeit für ähnlich liegende Puncte,
den Werth 2 erreichen zu können. Indem man aber n
geln an einander reiht, von denen die folgende immer l
als die vorhergehende, hat man es ganz in seiner Gew
der kleinsten angesammelte Electricitätsmenge zu je
gen Grade zu verdichten und dadurch ihre Spannu
dem Quadrate der Dichtigkeit proportional ist, sogar bis
des Widerstandes der Luft zu erhöhen. Auf dünnen kr
Platten nimmt die Dichtigkeit von der Mitte nach dem
sehr allmählig, in der Nähe des Randes aber plötzlic
zu, und erreicht am Rande selbst einen grössten W
dünnen Streifen und auf der Oberfläche prismatisc
Körper zeigt sich an den Kanten eine stärkere Anhäu
einiger Entfernung von denselben; die stärkste und ra
nahme bemerkt man aber in der Nähe der Enden.
plötzliche Zunahme der Dichtigkeit des electrischen Flu
sich auch an den abgerundeten Enden cylindrisch ges
ter, zumal wenn sie lang und dünn sind, während au
leren Theilen ihrer Oberfläche überall so ziemlich eine
keit herrscht. Ueberhaupt findet man, dass die Electri
den Theilen der Leiter, welche bei geringer Dicke a
vorstehen, an etwa vorhandenen Ecken und Kanten, in
aber an hervorragenden Spitzen am dichtesten anhäuf

Auf einer kreisrunden Messingplatte von 10 Zoll Durchmesse
lomb, die Dichtigkeit in der Mitte als Einheit genommen: 3 Zo
1,005; 2 Zoll vom Rande 1,17; 1 Zoll vom Rande 1,52; ½ Zoll vo
und am Rande selbst 2,9. — Als er seine Prüfungsscheibe nach
verschiedene Puncte eines langen, dünnen Metallstreifens setzte
den ihr mitgetheilten electrischen Zustand prüfte, hatte sie dicht
einmal so viel Electricität aufgenommen als in der Mitte; in der
gen Länge aber bis zu 1 Zoll Abstand vom Ende überall beiläufi
Menge. Die Prüfungsscheibe über das Ende des Streifens hinaus
nur noch ihr äusserster Rand damit in Berührung blieb, bildete
Verlängerung beider Flächen des Streifens, daher sie in dieser
so viel Electricität aufnahm, als in der Mitte.

Diese Vertheilungsverhältnisse zeigen sich ganz unabhängig
sammtmenge vorhandnen electrischen Fluidums. Z. B. die Dic
Mitte eines langen und schmalen Streifens verhält sich zu der
1 zu 2, mag nun dieser isolirte Leiter schwach oder stark gelade

Die relative Menge electrischer Theilchen, die sich währen
gewichtszustandes eines isolirten Leiters an irgend einem Pu
vorfinden muss, steht in geradem Verhältnisse zur Stärke der
schen Einwirkung (auf diesen Punct), zu welcher sich die E
sämmtlicher über die Oberfläche des Körpers ausgebreiteter Th
trischen Fluidums zusammensetzen. Diese Resultante, bezogen
Innern, muss Null werden. Auf jeden Punct der Oberfläche eines
sie einen positiven Werth. Dieser Werth kann jedoch nur in Bez
Kugeloberfläche nach jeder Richtung hin gleich seyn. Man überz
dass auf einer isolirten und mit Electricität beladenen Metallsche
Stellen, die in gleicher Entfernung vom Mittelpuncte liegen, einer

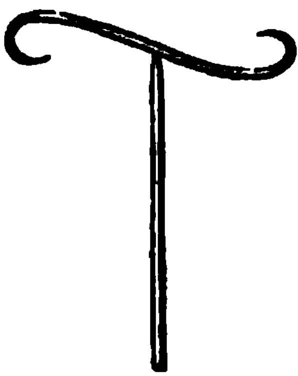
g ausgesetzt seyn können, so wie dass dieser Einfluss (nämle aller vorhandnen Kräfte) vom Rande nach der Mitte hin - Eben so leicht begreiflich ist es, dass bei kegelförmigen keit der Electricität nach dem Scheitelpuncte hin zunehmen cte selbst am grössten werden muss, weil gerade an dieser te der über die conische Oberfläche verbreiteten electrischen en Werth erhält. Wird an irgend einer Stelle der Oberfläche pitze angebracht, so muss sich diejenige Electricitätsmenge, t, der in dieser Richtung thätigen electrischen Einwirkung zu halten, an dem spitzigen Ende, d. h. auf einer Fläche von inger Ausdehnung ansammeln; ihre Dichtigkeit und Spannssersten Puncte müsste daher, insofern sie durch einen Genügender Grösse zurückgehalten werden könnte, über jede inaus anwachsen.

lectricität an der Oberfläche eines Leiters befindet ahrung lehrt, in keinem dauernden Gleichgewichtsermindert sich selbst bei zweckmässig angeordne-l in trockner Luft ziemlich rasch, und verschwindet letzte Spur. Eine allmählige Ableitung, vermittelt enden Träger, erklärt wohl bei feuchter Luftbe-16), aber nicht in trockner Luft diese fortdauernden weiss, dass eine trockne Siegellackstange von ge, durch längere Zeit anhaltendes Reiben am einen rn nicht merklich electrisch wird. Auch hat man eine Kugel von Messingblech von 1 Fuss Durchauf einer Schellacksäule von 8 Zoll Höhe und 1 ser ruht, dadurch nicht vollkommener isolirt werenn man ihr mehrere, z. B. 3 solcher Stützen gibt, n im letzteren Fall die ableitende Oberfläche ver-n seyn würde. Die Ursache der allmählig eintreten-t also hauptsächlich in der eigenthümlichen Be-r Luft zu suchen. Die einen electrisirten Leiter ufttheile verhalten sich in der That wie andere eile; sie werden bei der Berührung erst gleichartig n abgestossen. Andere müssen folglich an ihre n ihrerseits wieder abgestossen zu werden u. s. f. rischen Körper findet also eine fortdauernde Luft-, wodurch ihm in jedem Augenblicke ein Theil sei-freier Electricität entführt wird. Diese allmähligen dern sich im Allgemeinen mit der Stärke der elec-g; sie sind an solchen Stellen eines electrischen lchen die Dichtigkeit am grössten ist, an hervor-n, Ecken, Kanten, ebenfalls am grössten. Leiter r, überall abgerundeter Oberfläche, insbesondere dagegen die ihnen mitgetheilte Electricität, unter en Verhältnissen, am längsten zurück. Ist ein Lei-er mit mehreren Spitzen versehen, so kann er gar icität beladen werden, oder verliert doch die ihm dung fast augenblicklich wieder. Dabei bemerkt

man eine, je nach der Menge entweichender Electricitä weniger starke, wie von der Spitze ausgehende Lu Wird eine Spitze unmittelbar an dem Conductor einer ken Maschine angebracht, so kann der durch die rasc der folgenden Abstossungen electrisirter Lufttheile be eine solche Heftigkeit erlangen, dass die Flamme ein man der Spitze nähert, ausgeblasen wird.

Wenn man einen Messingdraht mit zugespitzten Enden und gebogen, in der Mitte seiner Länge so unterstü den Stützpunct herum in wagerechter Lage wenn man dann den Fuss dieses kleinen Kr Conductor der Maschine oder einem andern d dung stehenden Leiter befestigt, so wird der I rückwirkende Kraft des an den Spitzen gebilde in eine drehende Bewegung versetzt.

Fig. 120.



Das Ausströmen des electrischen Fluidums Conductor der Maschine angebrachte Spritze i scheinung leuchtender Büschel oder Garben be jedoch nur im Dunkeln sichtbar sind. Man bet unterscheidendes Merkmal beider Principe, dass die negative gleicher Stärke der Erregung weit kleinere Strahlenkegel bil sitive. Lange, schärfe Spitzen zeigen jedoch in allen Fällen n Auch findet man, dass, wenn beide Conductoren in stumpfe Spit Kugeln ausgehen, deren Abstand von einander nicht mehr als e trägt, während des Betriebs der Maschine an der Seite des positi die stärkste Luftbewegung entsteht.

332. Wiewohl Säulen von Schellack oder Siegella gender Länge, so wie auch gefirnisstes Glas und Seid man durch geschmolzenes Siegellack gezogen hat, Isolirungsmittel bilden, so kann man doch weder diese haupt irgend einen bekannten Körper als absolute Ni sehen. Man kann sich leicht überzeugen, dass eine Platte von Schellack, dem geladenen Conductor ein nahe gebracht, einen Funken aufnimmt, und dass ihr gleichnamige Electricität eingeprägt wird. Auf ähnl muss also auch jeder isolirende Träger eines electrisc einen Theil der Electricität des letzern aufnehmen. Die schlechten Leiter übergetretene Electricität dringt in ein und verbreitet sich, wiewohl mit abnehmender Dicht Oberfläche entlang, auf eine um so grössere Strecke, j sein Isolirungsvermögen und je höher die Spannung menden Electricität. Die isolirenden Füsse oder Trä daher um so länger seyn, je dichter die Electricität i Isolirung es sich handelt, und je unvollkommner das das man anwendet. Bei gleicher Länge und gleichem dünnere nichtleitende Träger die Electricität am bes hauptsächlich aus dem Grunde, weil sie der Luftfeucl kleinere Oberfläche bieten.

Je nach der Tension der vorhandenen Electricität u des Leiters kann eigentlich jeder nichtleitende Stoff

isolator werden; denn Alles kommt darauf an, dass die durch den Träger nicht rascher fortgeführt werde, als die Luft ohnediess geschehen müsste. Also Glas und che die stark gespannte Electricität gewöhnlich nicht alten vermögen, ja selbst Holz, von dem Augenblicke gewisser, dem Leitungswiderstande dieser Stoffe gleich-r, geringerer Grad der Spannung eingetreten ist, wer-och vorhandenen Rest des electrischen Fluidums eben iren, als diess durch Harz möglich ist.

chte Leiter, z. B. auf eine Schellackplatte, lässt sich Electricität inger Spannung übertragen, wenn man eine hervorstehende Ecke es Leiters, auf dessen Oberfläche sie sich befindet, oder noch besser gegen die Harzplatte richtet. Die Deckelplatte des Electrophors sators verliert daher sehr leicht ihre ganze Ladung, wenn man rägt, dieselbe parallel von ihrer Unterlage abzuheben.

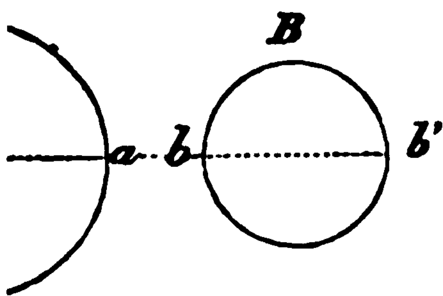
Electricität auf die Fläche eines Harzkuchens überspringt, ver-ch, dem Anscheine nach, nicht gleichmässig über die verschiedenen telle, auf welche sie übertreten musste. Hierauf beruhen die Lich-chen Figuren, welche man als eines der Hülfsmittel betrachtet, citäten zu unterscheiden.

teife die äussere Belegung einer kleinen geladenen Flasche und opf auf einen Harzkuchen. Ein Theil der inneren Ladung geht da-Harzfläche über. Wird auf die so electrisirte Stelle irgend ein feines, er gesiebt, z. B. Hexenmehl, oder Schwefelblumen oder Mennige, h dasselbe, je nachdem die innere Belegung der Flasche mit + E E geladen worden war, entweder zu einem Kranze mit nach allen usgehenden Strahlen, oder nur zu einem einfachen Ringe.

as Vertheilungsverhältniss der freien Electricität auf iche eines Leiters ist nur so lange ausschliesslich durch t der Oberfläche bedingt, als andere Leiter ringsum weit egen. So wie ein anderer die Electricität leitender Kör-n Wirkungskreis gelangt, ändert sich ihr früherer Gleich-ustand.

lectrische Körper seyen z. B. isolirte Kugeln mit metalli-rfläche, die vorher in Berührung waren und folglich gleichnamig electrisirt sind. Man wird finden, dass an verschiedenen Stellen der Oberfläche sowohl von *A* wie von *B*, welchen der beiden Körper man mit Hülfe der Prüfungsscheibe untersuchen mag, eine ungleiche Dichtigkeit herrscht, und zwar findet man sie an den einander zunächst liegenden Puncten n geringsten, an den am weitesten entlegenen am gröss-r Unterschied ist um so bemerkbarer, je geringer der eider Kugeln, und vermindert sich bei zunehmender Ent-

Fig. 121.



eide Kugeln mit ungleichnamigen Electricitäten beladen,

so zeigt sich begreiflicher Weise gerade an den Puncten *a* und *b* die stärkste, an den Puncten *a'* und *b'* dagegen die geringste Anhäufung.

Gesetzt, man habe der Kugel *A* im Voraus z. B. + E mitgetheilt, während *B* vor dem Eintritte in den Wirkungskreis von *A* sich im natürlichen Zustande befand, so wird ein Theil des neutralen Electricums von *B* zersetzt werden; — E wird sich nach dem Theile der Oberfläche hinziehen, welcher *A* zugekehrt ist und am Puncte *b* die grösste Dichtigkeit erreichen; + E, vorzugsweise auf der abgewendeten Seite von *B* angehäuft, wird in *b'* die grösste Dichtigkeit besitzen. Zwischen beiden Seiten der Kugel muss folglich eine Gränze (eine Zone) seyn, welche im natürlichen Zustande verharrt.

Auf der Kugel *A* wird der Prüfungsscheibe überall + E mitgetheilt, deren Dichtigkeit jedoch in der Nähe des Punctes *a* etwas zunimmt; um so mehr, je grösser der Umfang von *B* und je geringer der Abstand beider Körper. Die Anhäufung der + E bei *a*, so wie der — E bei *b* erreicht, unter übrigens gleichen Bedingungen, den grössten Werth, wenn der Leiter *B* mit der Erde in Verbindung gesetzt und dadurch seiner + E der freie Abfluss gestattet wird. In diesem Falle wird folglich der Uebertritt beider Principe zu einander und ihre Vereinigung unter gleichzeitiger Erscheinung des Funkens am meisten begünstigt und aus dem weitesten Abstande erfolgen.

Wenn man die Kugel *B* gegen *A* rückt, ohne die durch Vertheilung frei gewordene + E abzuleiten, so wird gleichwohl bei einem gewissen Abstande beider Körper der Druck der in *a* angehäuften + E gegen die trennende Luftschicht, so wie die ähnliche Einwirkung der in *b* angehäuften — E gross genug werden um den Widerstand der Luft durchbrechen und ihre Vereinigung bewerkstelligen zu können. Die nach dem Uebergange des Funkens in *B* zurückbleibende + E ist dann ihrer Menge nach eben so gross als der Verlust, welchen *A* erlitten hat, beträgt aber immer weniger als diejenige Menge, welche bei unmittelbarer Berührung von *A* auf *B* übergeht. Die auf der Oberfläche der Kugel *B* gebundene ungleichnamige oder abgestossene gleichnamige Electricität kann folglich auf keinem Puncte derselben eine Dichtigkeit annehmen, noch einmal so gross, als diejenige des auf einem ähnlich liegenden Puncte der Kugel *A* haftenden Fluidums (330).

Wenn man gegen einen electrischen Körper eine Metallspitze richtet, die in leitender Verbindung mit der Erde steht, so ist der Widerstand der Luft nicht gross genug, um die in der Spitze durch Vertheilung entwickelte ungleichnamige Electricität verhindern zu können, selbst aus beträchtlicher Entfernung auf den electrischen Körper überzuströmen. Durch diesen Einfluss wird daher ein elec-

her Körper in sehr kurzer Zeit in den natürlichen Zustand ckgeführt.

ichtet man eine lange, scharfe Spitze gegen den Conductor einer kräftig enden Maschine, so senkt sich alsbald die Kugel des Henley'schen Electrors; ein Einfluss, der sogar bei 8—10 Fuss Entfernung noch bemerkbar ist. igt aber der Abstand der Spitze von der Oberfläche des Conductors nur 3 Fuss, so nimmt der Conductor trotz des lebhaftesten Betriebs der Maie keine Ladung an. — Im Dunkeln leuchtet die Spitze.

Vird die Spitze gegen den Knopf einer stark geladenen Flasche gerichtet allmählig demselben genähert, während man die äussere Belegung mit der rn Hand berührt, so entladet sich die Flasche in wenigen Sekunden ohne usche und ohne eine Erschütterung der Nerven zu bewirken.

334. Wenn ein stark electrisirter Körper, z. B. der Conductor r im besten Gange befindlichen Electrisirmaschine, von veredenartigen Stoffen, guten und schlechten Leitern umgeben so wird der natürliche electrische Zustand in allen ohne Ausme gestört, das gleichnamige Fluidum abgestossen, das unchnamige angezogen. Der hieraus hervorgehende Druck gegen Luft nimmt zu, je mehr sich der electrische Körper und seine gebungen einander nähern. Diese Vertheilung geht jedoch in guten Leitern leichter und vollständiger als in den schlechtever sich, und überhaupt um so vollständiger, je schneller und weiter sich die gleichartige (abgestossene) Electricität entfern kann; sie wird daher in solchen Leitern, die mit der Erde in rbindung stehen, am vollständigsten eintreten. Der electrische nke kann demnach auf jeden Körper in der Umgebung des Contors überspringen, er wird aber denjenigen am sichersten tref, der bei der grössten Nähe die beste Leitfähigkeit besitzt. Beet sich in der Nachbarschaft des Conductors ein Leiter, der mit r langen, scharfen Spitze versehen ist, so wird bei diesem die theilung wie bei allen andern Körpern in der Nähe vor sich en. Allein während die gleichnamige Electricität in den Boden reicht, muss die ungleichnamige durch die Spitze ausströmen. rend also an den dem Conductor zugekehrten Enden der an Körper, je nach dem Grade ihrer Leitfähigkeit, die ungleichige Flüssigkeit in grösserer oder geringerer Menge sich an, ist der mit der Spitze versehene der einzige, welcher im rlichen Zustande verharrt. So wie eine Entladung erfolgt und Conductor seinen electrischen Zustand verliert, müssen die in m Gegenstande der Umgebung getrennten Electricitäten sich der vereinigen. Waren nun in einem Körper durch die vertheile Einwirkung beträchtliche Electricitätsmengen ausgeschieden l an entgegengesetzten Enden angehäuft worden, so kann der ktritt derselben, nämlich ihre Wiedervereinigung, von ähnlin Erscheinungen, z. B. wenn lebende Geschöpfe einen Theil leitenden Systems ausmachten, von einem ähnlichen Nervense begleitet seyn, wie der direkte electrische Schlag. Man nennt se Erscheinung **Rückschlag**.

Ueber Luft-Electricität und Gewitterable

335. Bekanntlich hat der berühmte Amerikaner Franklin zuerst mit Bestimmtheit nachgewiesen, c sache des Blitzes und diejenige des electrischen Fu der Stärke verschieden sind. Er hob hauptsächlich fol lickeiten in der Natur beider Erscheinungen hervor:

1. Das Zickzack des Blitzes gleicht dem eines e trischen Funkens, der aus einiger Entfernung überspr
2. Der Blitz schlägt am häufigsten in hohe, he Gegenstände, in die Gipfel der Berge, die Masten de hohe Bäume, Thürme u. s. w., gleich wie auch de Funken auf die hervorspringendsten Theile der nah Körper am leichtesten übergeht.
3. Der Blitz schlägt am häufigsten in solche Körp Leiter der Electricität sind, in Metalle, Wasser u. s. w., det die Nichtleiter.
4. Der Blitz entzündet verbrennliche Körper, schmelzbaren, zersplittert die spröden, zerstört das th ben. Aehnliche Wirkungen lassen sich durch die Ele vorbringen.

Franklin begnügte sich jedoch nicht mit dieser V es gelang ihm im Sommer 1752, vermittelst eines mit spitze versehenen Drachen, dessen Faden durch den feuchtet und dadurch leitend geworden war, die Electri Wolken herabzuziehen und damit alle die Versuche die man mit der Electrisirmaschine anzustellen pflegt Versuche wurden, auf Franklin's Anrathen, fast glei mit demselben Erfolge in Frankreich und England an bald an vielen Orten wiederholt.

Im grössten Maassstabe sind die Versuche mit dem Drachen von de Romas wiederholt worden. Er kam danken, dem Faden eines sehr grossen Drachen ei Metalldraht einzuflechten, dessen unteres Ende er durc denstrang isolirte. Ein Conductor, von dem eine Kette hinabreichte, konnte mittelst eines isolirenden Handgr und so dem Ende des Fadens beliebig genähert werde Weise gelang es de Romas, nachdem sich sein Dr eine Gewitterwolke zu sehr bedeutender Höhe erhobe ganze Stunde hindurch Ströme von Funken zu erhalte selben schlugen bis zu 10 Fuss Entfernung, und zwa den besten Leiter über. Das Geräusch, von dem sie be den, glich dem Knalle einer Pistole. — Auch der Blitz lich von einem heftigen Getöse begleitet, das von de rung herrührt, die er bewirkt, indem er die Luft durchbr gleichen Ursprung mit dem Knistern des kleinsten

Funkens. Durch den Wiederhall des Donners an den Bergen und andern Erhabenheiten entsteht das Rollen und lange Nachhallen desselben.

Die Gewissheit, dass der Blitz nichts Anderes sey, als eine starke electrische Entladung; die Leichtigkeit, womit es gelang, mittelst eines langen, am oberen Ende zugespitzten Leiters die Electricität aus den Wolken selbst herabzuziehen, führte Franklin zur Erfindung des Blitzableiters.

Jede Gewitterwolke verhält sich ähnlich wie ein mit Electricität beladener und durch die umgebende Luft isolirter Leiter. So oft daher eine schwere Wolke über die Erde zieht, wird der natürliche electrische Zustand aller unter ihr befindlichen Erdkörper aufgehoben. Die auf solche Weise auf der Erdoberfläche entwickelte ungleichnamige Electricität häuft sich allmählig an, je näher die Wolke rückt, und nimmt eben so allmählig wieder ab, wenn sich die Wolke entfernt. Ein Mensch, diesem Einflusse ausgesetzt, würde nichts davon empfinden, aber durch plötzliche Entladung der Wolke nach einer ganz andern Richtung, wodurch ihre Wirkung auf die Erde eben so plötzlich aufhören müsste, könnte er, ohne selbst vom Blitze getroffen zu seyn, durch blossen Rücktritt der in ihm angesammelten Electricität, durch den sogenannten Rückschlag, eine sehr heftige und selbst lebensgefährliche Erschütterung erhalten.

Durch die wechselseitige Anziehung der Wolken-Electricität und ihres Gegensatzes auf der Erde können die Gewitterwolken genöthigt werden, sich tiefer herabzusenken, und wenn sich gute Leiter, z. B. grosse Wassermassen in der Nähe vorfinden, kann dadurch sogar ihre Bewegung aufgehalten und selbst ihre Richtung geändert werden.

Je mehr Electricität eine Gewitterwolke enthält, je mehr sie sich den Erdkörpern nähert, je feuchter und besser leitend die zwischen beiden befindliche Luftschicht ist, je besser die Erdkörper selbst leiten, je vollständiger ihre leitende Verbindung mit grossen Massen feuchten Erdreichs oder mit fliessendem Wasser, um so mehr wird das der Wolken-Electricität gleichartige Fluidum zurückgedrängt, das ungleichartige angezogen und auf der Oberfläche der Körper verdichtet; um so wahrscheinlicher ist folglich der Eintritt einer electrischen Entladung, des Blitzes.

Wenn nun unter verschiedenen Erdkörpern in der Nähe einer sich befindet, der bei weitem besser als alle übrigen leitet, wenn derselbe überdiess über die andern hervorragt, am obern Ende zugespitzt ist und mit dem feuchten Erdboden so gut wie möglich in leitender Verbindung steht, so wird der niederfahrende Blitz diesen vor allen am wahrscheinlichsten aufsuchen.

Unter einem Blitzableiter versteht man einen solchen Leiter, von dem sich mit Sicherheit annehmen lässt, dass die etwa

in der Richtung der Erde sich entladende Electricität
unter allen Körpern der Umgebung ihn vorzugswei
um auf den Boden zu gelangen, wählen werde. Die v
Erfordernisse eines Blitzableiters ergeben sich bei g
rücksichtigung der bekannten Eigenschaften des electi
dums sehr leicht. Die Metalle bieten sich dazu als das
Material, indem sie die übrigen Körper ohne allen
Leitfähigkeit übertreffen. Unter den Metallen würde
als einer der vorzüglichsten Leiter zu wählen seyn;
wird aber Eisen, wegen seiner grösseren Wohlfeilheit,
Dieser metallische Leiter muss über die höchsten Pu
schützenden Gebäudes hervorragen, in ununterbroche
dung bis zur feuchten Erde oder zu fliessendem Wa
gehen und von erfahrungsmäsig hinreichender Dicke
selbst die grösste Menge von Electricität, welche mögl
aus einer Gewitterwolke hervortreten kann, indem sie
durch denselben nimmt, weniger als durch irgend ande
der Nähe aufgehalten wird. — Der Blitz trifft häufig einz
Bäume, weil diese, indem sie sich zu bedeutender Hö
und ihre Wurzeln theils tief in die Erde senken, thei
schiedenen Richtungen verzweigen, wahre Gewittera
Sie besitzen jedoch diese Eigenschaft nur in unv
Grade, daher dieselbe zuweilen für diejenigen verde
welche Schutz unter ihnen suchen. Als mittelmässige
statten sie der electrischen Flüssigkeit keinen seh
Durchgang, daher der Blitz auf bessere Leiter, wie Me
Thiere, wenn sie sich in der Nähe befinden, leicht übe
durch diese den Weg nach der Erde sucht.

Auch das Wasser leitet schlechter als lebende Thi
fahr, vom Blitz getroffen zu werden, wird folglich für
Nähe des Wassers eher vergrössert als verringert.

Ganz anders verhält es sich mit dem metallischen
hinlänglicher Dicke. Diesen verlässt der Blitz niemals,
er auf Holz oder Stein unmittelbar aufliegen, oder unmit
Wasser gehen sollte; selbst dann nicht, wenn man
Hand umspannte, denn kein anderer Körper kann der
einen rascheren Durchgang gewähren. Nur die Mögli
Mangels an metallischem Zusammenhange oder eines u
nen Ueberganges zu dem feuchten Boden macht es r
während eines Gewitters von dem Ableiter entfernt zu

Wenn jedoch ein Blitzableiter die oben verlangten
ten nicht besitzt, wenn er z. B. nicht dick genug ist, s
nur Gefahr der Erwärmung und selbst der Schmelzu
dern es kann auch wegen dieser verminderten Leitf
Abspringen des Blitzes auf nahe liegende Körper sta
dem ein Theil der Electricität, so weit es die Capacität

lben bis in die Erde folgt, der übrige Theil aber
ıste Umgebung eine bessere Ableitung findet. Ein
aft hergestellter Ableiter kann nun freilich keine
icherheit gewähren; irrig würde jedoch die Vor-
dass er die Gefahr vermehre, indem er sie herbei-
ch vor ihr schützen zu können. Aus dem Vorher-
htet ein, dass schlechte Gewitterableiter eben da-
, Sicherheit zu geben, weil sie vergleichungsweise
n Umgebung nicht mehr vorzugsweise eine anzie-
f die ohnediess in dieser Richtung sich entladende
cität auszuüben vermögen. Sie können also in kei-
Gefahr mehr herbeiziehen, als es überhaupt gute
e z. B. die Schornsteine, wegen der darin aufstei-
n Dünste, oder wegen des Russes, womit ihre Wände
vie eiserne Stubenöfen, wie Dachkandeln, Metall-
nd wie überhaupt grössere Metallmassen, die doch
ıde in Menge und ohne Bedenken verwendet werden.
eine 80jährige Erfahrung gelehrt, dass Blitzableiter,
;er Sorgfalt ausgeführt waren, die Gebäude, worauf
waren, vor dem Blitze vollkommen schützten. Man
ıicht bemerkt, dass der Blitz auf geschützte Woh-
r als auf andere nicht geschützte herabgefallen sey.
streckt sich die anziehende Kraft auch des besten
en seiner geringen Masse auf eine zu kurze Ent-
ıss sich erwarten liesse, er allein vermöge die Rich-
nmen, in welcher sich die Electricität einer Wolke
e.

d Erfahrung sagen uns also, nicht sowohl dass die
litz herbeiziehen, sondern dass, wenn derselbe zu-
eine Richtung wählt, in der sich ein Ableiter befindet,
weise getroffen wird.

essen, ein sehr starker Blitzableiter vermöge wirk-
aus den Wolken anzuziehen, und diess liesse sich
lie auf hohen Thürmen angebracht sind, mit mehr
ıkeit vermuthen, so würde diese Eigenschaft noth-
ie andere bedingen, denselben ohne Gefahr in den
ren, gleich wie die Electricität eines geladenen Con-
ıen kleinen nahestehenden Leiter nur dann über-
, wenn derselbe mit der Erde in Verbindung steht.

ableiter lassen sich drei Haupttheile unterscheiden: die Auf-
e Ableitung und die Versenkung.

nge ist eine Stange aus Schmiede-Eisen, gewöhnlich vierkan-
pyramidal zulaufend. Ihr Zweck ist, an dem zu schützenden
ınct zu gewinnen, der, weil er über alle andern hervorragt,
ıt und eine stärkere Anziehung als alle unter ihm befindlichen
Electricität ausübt, dem Anfalle des Blitzes vor allen aus-

nge muss daher an der höchsten Stelle des Hauses aufgerich-

tet und wenigstens so hoch seyn, dass sie über die Schornst
Am obersten Ende derselben pflegt man eine kupferne, stark ve
aufzuschrauben. Diese Spitze ist vielleicht nicht unumgänglich
gewährt aber jedenfalls den Vortheil, dass aus derselben dem in
handnen electrischen Fluidum sein Gegensatz entgegenström
durch allein schon die energischen Wirkungen des Blitzes bed
dert werden können. Mehrere Spitzen an der Auffangstange, kre
anderer Weise angebracht, sind allerdings zwecklos und wede
fahrung, noch durch die Theorie motivirt.

Die schützende Kraft der Auffangstange erstreckt sich nach
rung gegründeten Gutachten der Pariser Akademiker*) auf
dessen Halbmesser ihre doppelte Höhe nicht übersteigen darf. Z
von 15 Fuss Höhe sichert nur solche Stellen eines Gebäudes, wel
Höhe mit ihrem Fusspuncte, von diesem nicht mehr als 30 Fuss
Man pflegt die Höhe von 12—15 Fuss nicht zu überschreiten;
Dachfirst mehr als 60 Fuss lang ist, müssen daher zwei oder me
stangen erhalten, so dass der Abstand von zwei Stangen nie me
ausmacht.

Die Dicke der Stange, da wo sie auf der First aufsitzt, betrá
oben darf sie sich bis zu $\frac{1}{2}$ Zoll verjüngen.

Unter der Ableitung versteht man die metallische Verb
von der Auffangstange, wo möglich auf dem kürzesten Wege, d
halb des Hauses darbietet, nach dem Boden herabführt. Sie
von Eisen; aber auch Kupfer, Messing und Blei werden zu diese
wendet.

Das Eisen wird in runden und viereckigen Stangen und neue
figsten in Form gewalzter Schienen angewendet. Man hat kei
Eisenstangen von $\frac{1}{4}$ Quadratzoll Querschnitt durch den Blitz w
zen oder auch nur erwärmt worden. Diese Dicke kann daher
betrachtet werden. Den Schienen gibt man 1 Zoll Breite und $\frac{1}{4}$

Die einzelnen Stücke werden an den Enden etwas breiter ge
und eben gefeilt und mittelst Schrauben und Muttern sowohl a
stange, wie an einander befestigt. Um den metallischen Zusam
kommen zu sichern, kann man zwischen jede Verbindungsstel
scheuertes Bleiblättchen legen. So weit die Ableitung auf dem
pflegt man sie auf 4—6 Zoll lange, oben zum Einlegen der Sta
versehene eiserne Stützen zu legen, welche 15—16 Fuss von ein
bar in die First des Daches eingeschlagen werden. Da wo die Le
der Seitenwand des Gebäudes herablauft, kann man sie mit Kl
Mauer befestigen. Kein Theil eines Blitzableiters braucht isol
Wohl aber müssen grössere Metallmassen, wie Dachkandeln u. s.
Zusammenhang damit gebracht werden. Man führt die Ableitun
der Wetterseite herab. Mehr als eine bei einem gewöhnlichen
überflüssig.

Um den Blitz mit voller Sicherheit in die Erde ableiten zu k
Ableitungsstange noch eine Strecke Wegs unter dem Boden fort
Man nennt diesen untersten Theil derselben die Versenkung.
tigen Anlegung hängt eigentlich der Werth der ganzen Vor
handelt sich nämlich darum, die electrische Flüssigkeit aus ei
leitenden Kanäle (der Eisenstange) auf einen verhältnissmässi
schlechteren Leiter, den Erdboden, ohne Aufenthalt zu übertra
folglich suchen, die Uebergangspuncte möglichst zu vervielfä
Ende pflegt man vom Grunde des Gebäudes ab einen 4—5 Fuss

*) Instruction sur les Paratonnerres, adoptée par l'Academie royale des S
1823 et redigée par une Commission composée de MM. Poisson, Lefébre
Dulong, Fresnel et Gay-Lussac, Rapporteur (Annales de Chim. et de Phys

n eröffnen, in welchen das Ende der Stange, umgeben von einem en Wulste von Blei, und am besten in mehrere Aeste auslaufend, age von zerschlagnen Holzkohlen eingelegt wird. Man gibt dann : Lage Holzkohlen-Stücke auf, bevor man den Graben wieder llt.

ge fortgesetzte Beobachtungen über den electrischen Wolken haben als Thatsache herausgestellt, dass sie ectricität beladen sind. Bald zeigt sich dieselbe von ld von negativer Beschaffenheit, und oft wechseln in erziehenden Gewölke beide Zustände rasch mit ein- ese Ladungen werden, wenigstens in der gemässigten r Erde, in den meisten Fällen durch Regen und Schnee, auffallende Erscheinungen, zur Erde herabgeleitet. ist also nur die Folge einer ungewöhnlich starken es electrischen Fluidums in den Wolken.

andenseyn freier Electricität in der Atmosphäre ist aber Umfang der Wolken beschränkt; auch bei dem ge- euchtigkeitszustande, ja zur Zeit der grössten Trok- ıdet sich Electricität in der Luft, die durch empfindliche , welche man, mit langen, oben zugespitzten metalli- n verbunden, dem freien Luftraume aussetzt, ange-)iese Electricität ist bei heiterer Witterung immer po- ıtensität ist gewöhnlich gering, scheint aber in den ionen der Atmosphäre zuzunehmen.

ernde Beobachtungen über den electrischen Zustand der Luft ınnen, wird eine, oben in eine lange dünne Spitze ausgehende ıung, welche, ähnlich der Auffangstange des Blitzableiters, über ıncte des Daches hervorragt, isolirt in das Innere des Gebäudes tere, mit einer isolirten Kugel zusammenhängende Ende dersel- Befinden mit dem Electrometer verbunden oder auch mit der ;e in leitenden Zusammenhang gesetzt werden. Letztere muss ırgfalt, wie diejenige eines Blitzableiters hergerichtet seyn. Der opf derselben wird gewöhnlich in der Entfernung von ein Paar Kugel des Zuleiters aufgestellt, damit etwa eintretende sehr he Anhäufungen gefahrlos abgeführt werden können.

:he Einwirkung der Luft auf diese, so wie auf andere geeignete e Vorrichtungen ist im Winter stärker als im Sommer; alltäg- mit Sonnenaufgang, nimmt nach 9 Uhr wieder ab, steigt bei ıg abermals um dann während der Nachtzeit allmählig wieder gens, kurz vor Sonnenaufgang, ist sie am schwächsten. Dieses i heiterer Witterung ziemlich regelmässig. Bei bewölktem Him- Abweichungen, wiewohl auch dann nur positive Electricität in len wird. Nur während eines Gewitters, sowie bei Regen- oder et man abwechselnd bald positive, bald negative Electricität; ıan dann eine weit grössere electrische Intensität als bei hei-

ırere Ursachen scheinen zu der in der Atmosphäre Electricität beizutragen. Als die erheblichsten dersel- ın den Verbrennungsprozess kohlenstoffhaltiger und altiger Körper und insbesondere die Dampfbildung be- n hat nämlich die Beobachtung gemacht, dass Körper,

welche in der Luft verbrennen, freie negative Electricität an
men, während das durch die Verbrennung erzeugte Wass
oder die erzeugte Kohlensäure sich mit positiver Electricit
laden. — Ebenso zeigt sich während des Processes der D
bildung eine Störung des natürlichen electrischen Gleichgew
die aus den Gewässern aufsteigenden Dämpfe treten in den
electrischen Zustand; die zurückbleibende Flüssigkeit da
oder andere damit in Berührung stehende Körper werden n
electrisch.

Will man diese Art der Electricitätsentwicklung durch Versuche
weisen, so befestige man an der unteren, auf dem Electrometer aufsitz
Platte eines Condensators, einen Metalldraht und gebe demselben 3—4
seitwärts von dem Instrumente eine ringförmige Biegung. Man bedeckt
letztere mit einer Scheibe von Platin, setze einen Kohlencylinder darauf,
oberes Ende man entzündet hat, und berühre die obere Condensatorplatte
dem Finger. Nach wenigen Augenblicken, zumal wenn die Verbrennung
Zuströmen von Luft, z. B. mittelst des Löthrohrs, belebt wird, nimmt die
Platte eine negativ electrische Ladung an. — Um zu zeigen, dass die Kohl
säure mit positiver Electricität entweicht, setzt man die brennende Kohle,
sie zu isoliren, unter die Platinscheibe, so dass diese mit dem Strome
steigender Kohlensäure in Berührung kommen muss.

Bringt man auf die ringförmige Biegung des Drahts eine Platinschale,
hitzt dieselbe bis zum Glühen und giesst dann einige Tropfen einer
oder auch gewöhnliches Brunnen- oder Flusswasser hinein, während die
Platte des Condensators in leitender Verbindung mit der Erde steht, so
dichtet sich — E in der unteren Condensatorplatte. Eben so leicht lässt
beweisen, dass der Dampf mit + E beladen, fortgeht. Das Wasser der
und Flüsse ist selten ganz rein, fast immer enthält es fremdartige Stoffe,
auch in geringer Menge aufgelösst. Chemisch reines Wasser entwickelt bei
Verdampfung keine Spur von Electricität. Man hat hieraus den Schluss
gen, dass die Störung des electrischen Gleichgewichtes bei der Ver
wässriger Flüssigkeiten, nicht sowohl dem Uebergang des Wassers in
form, als vielmehr einem gleichzeitigen chemischen Processe, nämlich
Trennung der Wassertheile von dem Stoffe, womit sie in der Auflösung
den waren, zuzuschreiben sey.

Der Vorgang der Verdampfung bildet einen so ausgiebigen Electri
quell, dass man ihn neuerdings als ein Mittel benutzt hat, Electricität in
rer Menge und von ähnlicher starker Spannung, wie sie mittelst der
Electrisirmaschine erhalten werden kann, zu gewinnen. Die von ihrem
Armstrong (Pogg. Ann. 60. 352) sogenannte Hydro-Electrisirmaschine
steht im Wesentlichen aus einem isolirten cylindrischen Dampfkessel,
Feuerherd sich im Innern befindet. Die Feuerluft wird durch Röhren,
Kesselwasser umgeben sind, in eine mit dem Kessel zusammenhängende
damit ein einziges isolirtes System bildende Rauchkammer geführt und
aus dieser in den Schornstein. Die gebildeten Dämpfe strömen durch eine
Anzahl enger nach Aussen sich erweiternder Röhren aus, die den Zweck
der austretenden elastischen Flüssigkeit Bewegungshindernisse entgegen
setzen, weil der Erfinder von der durch spätere Versuche von Faraday
rechtfertigten Vorstellung ausgeht, dass Reibung an den Röhrenwänden
hauptsächlichste Ursache der Electricitätserregung bei seiner Maschine
(A. a. O. 348). Gegen den ausströmenden Dampf ist eine Reihe von
spitzen gerichtet, die mit der Erde in leitender Verbindung stehen und
dazu dienen, die + E des Dampfes möglichst rasch zu entfernen. Je weiter
diese Spitzen von den Ausströmungsöffnungen entfernt hält, um so stärker
die Spannung der auf der Oberfläche des Kessels angehäuften — E. Bei
Abstand der Spitzen wurden zuweilen Funken von 22 Zoll Länge erhalten

der grossen Menge von Electricität, welche durch den unochen fortgehenden Process der freiwilligen Verdampfung ır Verdunstung in die Atmosphäre übertritt, und durch aufde Luftströme in die Höhe geführt wird, begreift man nunrarum überall und zu jeder Zeit Electricität darin gefunden nd warum dieselbe vorzugsweise, ja gewöhnlich positiv ist.
Wolken, insbesondere die durch sehr starke Abkühlung entıen, dichten und schweren Gewitterwolken, müssen wegen iehaltes an bereits tropfbarem Wasser einen weit höhern ır Leitfähigkeit besitzen, als Luftmassen, in welchen feuchte schläge noch nicht erfolgt sind.
Luft-Electricität im ganzen Umfange einer Wolke sammelt rdichtet sich daher mit mehr oder weniger grosser Schnel-, je nach der Stärke des Wasserniederschlags an der Ober-derselben, ganz so, wie es bei einem electrisirten Leiter, n einem schlechter leitenden Mittel umgeben ist, geschehen So erklärt es sich, dass dem Ausbruche heftiger Gewitter eine sehr starke und gewöhnlich auch eine sehr rasche nbildung vorhergegangen ist.
gewöhnlich sehr grosse Länge des Blitzes erklärt sich aus vollkommenen Leitfähigkeit der Wolken, wodurch bewirkt dass der Blitz nicht sowohl einen einzigen überschlagenden n bildet, sondern mehr eine Funken-Reihe, ähnlich dem n-Uebergange bei einer Blitztafel.
niger leicht begreiflich ist nach dem gegenwärtigen Umunserer Erfahrungen, dass in den atmosphärischen Niederm und in den Gewitterwolken fast eben so oft — E. als + E. en wird. Man nimmt indessen an, dass die Stärke des Waserschlages, so wie die der electrischen Anhäufung in Wolelche in verschiedenen Höhen des Dunstkreises entstanden cht gleich sey. Wenn sich aber Electricität der einen Art em Leiter in verhältnissmässig bedeutenderer Menge bels auf andern der Umgebung, so wird in diesen der Gegench Vertheilung hervorgerufen. Durch wechselseitige Ein; ungleich stark electrisirter Wolken können also beide täten auftreten, wenn schon ursprünglich die positive das wicht in der Atmosphäre hat.

Berührungs-Electricität.

Verschiedenartige Körper werden schon bei der blossen ıg (beim Contakte) entgegengesetzt electrisch. Die Tenhierbei ausgeschiedenen Electricitäten ist jedoch niemals um ohne Beihülfe der empfindlichsten electrometrischen ıge wahrnehmbar zu seyn. Die Art der Electricität, die ein ei der Berührung mit einem andern annimmt, ist unter

der Bedingung ganz reiner Berührungsflächen derjeni
welche durch Reibung mit diesem andern (insofern er
netes Reibzeug bilden kann) hervorgerufen werden
Stoffen von ganz gleichartiger Oberflächen-Beschaffenh
die Berührung keine Störung des electrischen Gleichge

Berührt man z. B. eine reine Kupferplatte mit einer noch u
Glas- oder Schellackscheibe, so wird das Kupfer negativ electrisc
Körper positiv. Holz oder Papier mit Schellack berührt wird posit
die harzige Substanz negativ. Um diese electrischen Zustände
weniger empfindliches Electrometer erkennbar zu machen, kann m
electrischen Verstärkungsapparates bedienen, der von seinem Erfi
den Namen Duplicator erhalten hat. Er besteht aus drei gewöh
densatorplatten *a*, *b* und *c*, von welchen die erste auf dem Goldb
meter sitzt, die zweite von einem isolirenden Fusse getragen wird,
Deckel, mit einer isolirenden Handhabe versehen ist. Gesetzt, *c* sei
worden; man berühre *a* mit einer von Glas isolirt abgehobenen
c mit dem Finger, so wird die im Kupfer erregte — E in die un
satorplatte eingesogen, in der oberen eine entsprechende Menge +
Hebt man dann *c* von *a* ab, stellt es auf *b*, während man dieses mi
berührt, so wird darin nahe eben so viel + E gebunden als in *a*
Verbindet man daher *a* und *b* mittelst eines kleinen, isolirt geh
laders, und berührt *c* mit dem Finger, ohne es von *b* abzuheben,
sowohl in *b* wie in *c* noch einmal so viel Electricität ansammeln
dieser Platten vorher enthalten war. Indem man dieses Verfah
nämlich *c* abwechselnd auf *a* und auf *b* stellt, zuerst die untere
platte mit der Erde, dann *a* und *b* leitend verbindet, dagegen *c* mit
berührt, wird die ursprünglich mitgetheilte Electricitätsmenge a
fache, achtfache, sechzehnfache u. s. w. vermehrt. Die Vervielfält
einer gegebenen Quantität des electrischen Fluidums, mit Hülfe des
steigt also in einem sehr schnell zunehmenden Verhältnisse und
ohne Gränzen. Aber eben desshalb darf man nie unterlassen, di
Instrumente erhaltenen Resultate durch Gegenversuche zu contro
man sich sonst der Gefahr aussetzt, durch zufällig, z. B. durch Rei
densatorplatten aneinander, oder irgend andere Ursachen entwick
cität irre geleitet zu werden.

Der Vorgang des Reibens ist eigentlich nur ein vervielfältigt
Da nun die bei der einfachen Berührung erregte Electricität von de
ben entwickelten nur in der Stärke verschieden ist, da ferner die d
menreiben anscheinend gleichartiger Stoffe bewirkten, verhältniss
nur geringen electrischen Erregungen, in der Mehrzahl der Fälle v
ter Verschiedenheit entweder der äusseren, physikalischen Besch
doch der Temperatur abgeleitet werden können, so hat man Gru
muthung, dass Reibungselectricität und Berührungselectricität w
derselben Ursache herrühren, und dass eine Erklärung der Ents
der einen, die der andern einschliesst. — Um eine reichliche ele
beute zu erhalten, muss, wie bekannt, wenigstens der eine de
geriebenenen Körper ein Nichtleiter seyn. Auf dem Nichtleiter haft
Electricität, während bei fortgesetzter Reibung, also durch Wechs
rungspuncte stets neue Erregungen eintreten. Die Electricitätsmen
daher anhäufen, bis endlich ihre Spannung gross genug geworden
tungswiderstand zu überwältigen. Ueber diese Gränze hinaus fortg
auch noch so starke Reibung bleibt ohne Erfolg.

339. Bei der Berührung werden je zwei versch
Körper im Widerspruche mit dem, wovon uns die Leh
bungs-Electricität unterrichtet, auch dann electrisch,

iter sind. Die Electricitätserregung ist in diesem Falle m leichtesten und sichersten nachweisbar.

Kupferplatte, die auf der einen Seite recht eben abge- , auf der andern mit einem 3—4 Zoll langen Stiele von k versehen ist, und eine ähnlich eingerichtete Zinkplatte mit ihren glatten Flächen zusammengelegt, dann, indem an ihren isolirenden Handhaben fasst, wieder getrennt. ere wird dadurch freie negative, die zweite freie positive tät aufnehmen. Diese entgegengesetzten Zustände sind elst eines sehr empfindlichen Electroscops direct wahr- r. Durch Beihülfe des Condensators verstärkt, können sie jedem Electrometer beobachtet werden. Man theile zu dem Electricität des Kupfers der einen Condensatorplatte, die s der andern mit, bringe dann beide Körper von Neuem rung, trenne sie wieder und verfahre überhaupt wie vor- h 6—12 oder mehr Wiederholungen dieser Art (es hängt n der Empfindlichkeit des Electrometers ab) wird der Con- r hinlänglich stark geladen seyn, um nach Abhebung der latte einen deutlichen Ausschlag der Goldblättchen oder men bewirken zu können.

cheres Gelingen dieses Versuches erfordert reine Berührungsflächen, nde Handhaben, trockne Luft und ein paralleles Abheben der Platten. en letzteren gewöhnlich einen Durchmesser von 3 Zoll. Die Menge werdenden Electricität ist bei gleicher Oberflächen-Beschaffenheit der er Berührungsflächen proportional. Uebrigens ist es nicht wesentlich, pfer- und Zinkplatten zu wählen; irgend zwei andere Leiter mit ebnen n Flächen, damit sie sich recht viele Berührungspuncte bieten können, ergelegt, zeigen dieselbe Erscheinung.
Reibung zweier guten Leiter aufeinander, kann die schon bei einfacher ; derselben erfolgende electrische Ausscheidung nicht im geringsten werden.

Diese durch wechselseitige Einwirkung zweier ungleich- Stoffe erregten Electricitäten befinden sich während der r Berührung im gebundenen Zustande und können dess- nach der Trennung der Platten auf das Electrometer ein- Dass sie aber wirklich schon im Augenblicke der Berüh- eugt werden und nicht erst ein Product der Trennung sind, nan daraus, weil abwechselnd von dem einen und andern ndenen Körper, ganz so, wie es die Bedingungen wech- er Bindung erfordern, kleine Mengen Electricität abgeleitet mittelst eines geeigneten Verdichtungsapparates gesam- den können.

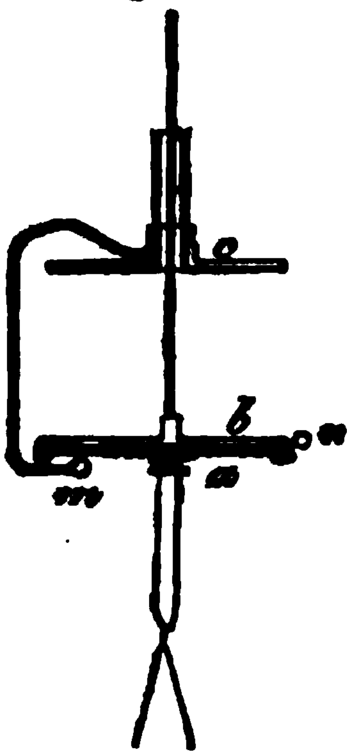
iehme einen Condensator, dessen einer Theil aus Kupfer, e aus Zink besteht; man verbinde die Kupferseite des Paares einen Augenblick mit der Kupferplatte des Con- , die Zinkseite mit der Zinkplatte. Letztere wird dadurch , die erstere mit — E. geladen.

r Versuch lässt sich beliebig oft, stets mit gleichem Er-

folge wiederholen. Die abgeleiteten Electricitäten mi
durch neue Erregung immer wieder ersetzt werden.

Die so erhaltenen electrischen Ladungen können nicht, wie di
Platten (339) bewirkten, auf jedes Electroscop einen Eindruck
erfordern empfindliche Instrumente. Mittelst des Duplicators
die Wirkung verstärken; noch geeigneter zu diesem Zwecke ist
Art von zusammengesetztem Condensator, dessen Gebrauch n
Duplicators zu zweideutigen Anzeigen führen kann. Er beste

Fig. 122.



einander liegenden Platten *a*, *b* und *c* (Fig
chen die unterste und oberste aus gleichart
beide aus Kupfer oder übergüldetem Mes
seyn müssen, die mittelste kann aus andern
Zink bestehen. *c* ist in der Mitte durchbroch
lirende Handhabe hohl, dergestalt, dass w
sie den isolirenden Stiel von *b* umschliesst, u
auch ganz entfernt werden kann, ohne die
rücken; *a* sitzt auf dem Electrometer. *b* is
nisst und an der einen Seite mit einem klei
demselben Stoffe, wie die Platten *a* und *c*, '
dünner cylindrischer Stiel in eine entsprec
eingeht. *a* ist nur an der oberen, *c* nur an de
mit Firniss überzogen. An der Berührungs
platte *b* und des daran befestigten Knopfes *n*
trische Erregung statt. Setzt man daher d
der Oberfläche von *c* in leitende Verbindung
b aufliegt, so laden sich beide Platten; die e
die letztere mit + E. Hebt man hierauf *c* an
Handhabe so weit auf, dass der heruntergehende Knopf *m* mi
kommt, so wird die — E. von *c* in diese unterste Platte gezo
+ E. an der unteren Fläche der Zinkplatte gebunden. Die o
Zinkplatte und die darauf liegende Kupferplatte können dahe
holte Verbindung des Knopfes *n* mit der Oberfläche von *c* eine
nehmen, und diese kann, wie vorher, wieder auf die beiden u
übertragen werden u. s. f., bis nach dem Abheben der Platte
starker Ausschlag der Pendel erfolgt.

341. Die Fähigkeit eines Paares ungleichartiger S
sie sich in Berührung befinden, die ihnen entzoge
immer wieder zu erzeugen, beweist eine fortdauernd
selseitige Einwirkung. Sie hindert, ähnlich wie ein
nes Leitungsvermögen, den Rücktritt beider ausgesc
sigkeiten zu einander. Zwischen guten Leitern ist
Hinderniss der Wiedervereinigung denkbar. Das
Wiedervereinigigung oder die wechselseitige Anziel
her mit der electrisch erregenden Ursache, mit der
electromotorischen Kraft im Gleichgewichte s

Sind beide Principe in solcher Menge vorhande
Gleichgewichte zu entsprechen, so hört die Erreg
auf der einen oder andern Seite Electricität abgelei
führt, so ist das Gleichgewicht gestört. Im ersten
Ausscheidung beider Flüssigkeiten, bis der Verlust e
electrische Anhäufung über diese Gränze hinaus k
stattfinden. Wird mehr Electricität zugeführt, so

n nach den gewöhnlichen Regeln des electrischen Gleichge-
ichtes über die Oberfläche beider Körper. Das Erregerpaar hört
) nicht auf, für alle, von Aussen zugeleitete Electricität sich wie
gewöhnlicher Leiter zu verhalten.

Jedes System von zweien oder auch mehreren einander elec-
ch erregenden Leitern nennt man einen Electromotor.

342. Man denke sich einen Electromotor etwa aus Zink und
pfer gebildet. Die erregende Kraft wirkt mit solcher Schnellig-
it, dass der Augenblick der Berührung für die sinnliche Wahr-
mung zugleich auch derjenige der Herstellung des Gleichge-
chtes ist.

Es werde Electricität von Aussen zugeführt, z. B. + E., gleich-
ltig auf welcher Seite; sie muss sich über die Flächen beider
rper ausbreiten. Die Dichtigkeit der freien + E. des Zinks nimmt
m, die freie — E. des Kupfers wird zum Theile, oder vielleicht
ch ganz gesättigt. Ist letzteres der Fall und die Zuleitung währt
t, so sammelt sich auch auf dem Kupfer + E. an. Aber unter
raussetzung unausgesetzter Fortdauer der electromotorischen
aft muss zwischen der Dichtigkeit der + E. des Zinks und des
E. des Kupfers stets ein Unterschied bleiben, und dieser Unter-
hied muss der Grösse der electromotorischen Kraft proportional
yn, da er nach den Regeln wechselseitiger electrischer Bindung
318), der ganzen an der Berührungsstelle ausgeschiedenen, und
o lange die Berührung währt, im gebundenen Zustande verhar-
nden Electricitätsmenge proportional ist.

Zuführung von + E. ist dasselbe wie Ableitung von — E. Den-
n wir uns jetzt das Kupferende des Paares in Verbindung mit
em Ableiter. Die freie — E. vermindert sich, die freie + E.
mmt zu, bis zuletzt alle freie — E. des Kupfers verschwunden
nd dafür die + E. des Zinks eine der Grösse der electromo-
ischen Thätigkeit entsprechende Dichte angenommen hat. Von
Augenblicke an tritt keine weitere Aenderung ein, so lange
das Kupfer mit der Erde in Berührung bleiben mag, weil die
ie + E. des Zinks in Folge des Widerstandes der electromo-
schen Kraft, in der Richtung des Kupfers nicht entweichen
. Ein eben so grosses Uebergewicht an freier — E. würde
an der Kupferseite erzeugen müssen, wenn man diese isolirte,
gen das Zink mit einem Ableiter, z. B. mit der Collectorplatte
Condensators verbände.

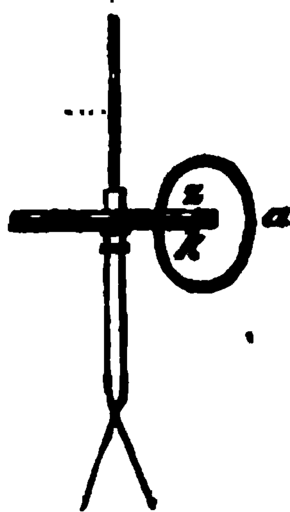
ie Bedingungen der Ladung des Condensators mittelst eines
erpaares, sind mit Rücksicht auf die vorstehenden Erläute-
n leicht zu übersehen. Man begreift, dass die Ladung vol-
seyn muss, wenn das Uebergewicht an freier Electricität
Collectorplatte diejenige Dichte besitzt, welche das freie
m auf der damit in Verbindung stehenden Seite des Electro-
s überhaupt annehmen kann, und welche, wie vorher ge-

zeigt worden ist, mit der Grösse der electromot
geraden Verhältnisse steht.

Die durch ein gegebenes Erregerpa
dung des Condensators kann daher als r
gelten für die Intensität der electromo
tigkeit.

343. Man findet, dass der Condensator eine
dung annimmt, beide Bestandtheile des Erreger
nun an vielen oder auch nur an wenigen, ja se
einzigen Puncte berühren. Verbindet man z. B.
des Zink-Kupfer-Condensators einen Augenblicl

Fig. 123.



umgebogenen Zink- oder Kupferdr
so dass die erregende Kraft sic
einem Puncte äussern kann, so wi
dem Abheben der Deckelplatte d
erhalten, wie wenn beide Metalle
so grosse Anzahl Berührungspun
die Stärke der Ladung hängt von
Erregung ab, die an jedem Berühr
ist, nicht aber von der ganzen M
dener Electricität, welche grösste
denen Zustande verharrt. Die Anz
puncte kann also nur auf die Zeit, während d
bewerkstelligt, einen Einfluss äussern. Anders
Theile des Erregerpaars nach der Berührung v
den, weil in diesem Falle alle ausgeschiedene
als freie Electricität zum Vorschein kommt.

344. Auf die Stärke der Ladung, welche
nehmen kann, ist es ferner ganz ohne Einflus
nur in einfacher oder ob sie in derjenigen
stehen, die durch Zusammenlöthen erhalten
Einfluss, ob beide Theile des Erregerpaars
eine oder andere, nur nicht beide zugleich,
andern Ableiter, ja mit der Erde selbst in le
hen. — Der Kupferdraht *z a k* (Fig. 123),
mit der Kupferplatte des Condensators ve
a durchgeschnitten und der obere Absch
der untere mit der andern Hand gefasst.
bei *z* erregte — E. (des Kupfers) ist in
gehindert in die Erde abzufliessen; die
Condensators kann folglich, ausschliess
Kraft der an der Zinkfläche angesamme
Da gleichwohl die Stärke der Ladung
der Verbindungsdraht bei *a* an einer is
ten würde, muss man schliessen, das

ın der Zinkseite genau in dem Maasse zugenommen hat, der Kupferseite sich verminderte.

ie Ungleichheit im electrischen Zustande des Zink-Kup- velche sich bei dem Zinke durch freie positive Electrici- Dichtigkeit + e, bei dem Kupfer durch freie negative von der Dichtigkeit — e' ausdrückt, nennt man den elec- ıterschied (die electrische Differenz) des Erreger- den in den vorhergehenden Paragraphen mitgetheilten n geht hervor, dass: wie veränderlich die Werthe – e', jeder derselben für sich betrachtet seyn hre Differenz: + e — (— e') = e + e' eine be- Grösse behauptet.

eständigkeit der electrischen Differenz beweist eine un- he Fortdauer der electromotorischen Kraft, so lange die währt.

Allgemeinen e + e' = 2 d. Man berühre die Kupferseite des elec- en Paars mit dem Finger; alle freie — E. wird dadurch abgeleitet; gleich 0, e verwandelt sich in 2 d. Diess ist also die grösste Dich- he das freie Fluidum auf der einen oder andern Seite erhalten kann. chselseitige Erregung müssen stets gleiche absolute Mengen + E. geschieden werden. Sind daher beide Körper von ganz gleichem . Kugeln von gleichen Durchmessern und gleich gut isolirt, so muss nblicke der Berührung über die Oberfläche der Zinkkugel eben so itive, wie über die Kupferkugel negative Electricität verbreiten, igkeit auf jeder Seite ist d.

men, mit der Kupferseite werde irgend ein Leiter von begränztem erbindung gebracht, etwa eine Kugel, deren Oberfläche sich zu der l wie n : 1 verhält. Die Dichtigkeit des freien Fluidums auf dem dadurch von d auf x; und in Folge neuer Erregung muss die des ms auf dem Zinke um denselben Unterschied $d - x$ anwachsen; re nicht nur von dem Kupfer, sondern auch von dem Zink, eine e beider gleichgrossen Körper und der Dichtigkeit $d - x$ entspre- ricitätsmenge, im Ganzen also $2(d - x)$ abgeleitet worden. Hier- t ein anderer Leiter, nach Annahme von n facher Oberfläche, mit on der Dichtigkeit x geladen worden. Es ist daher

$$2(d - x) = nx$$

$$: x = \frac{2d}{n + 2}.$$

z. B. eine Zinkkugel mit einer Kupferkugel von doppeltem Umfange gebracht, so ist n = 1, daher $x = \frac{2}{3}$ d; die Dichtigkeit der + E. ss folglich bis zu $\frac{4}{3}$ d steigen.

er electrische Zustand, welchen ein Körper bei der Be- nimmt, hängt wesentlich von der Beschaffenheit des womit er in Berührung gebracht wird; z. B. Kupfer mit egativ electrisch, Kupfer mit Platin positiv. Unter den Stoffen, deren Verhalten in dieser Beziehung genau be- tellt sich nachfolgende Ordnung heraus:

Sauertsoff,	Gold,
Schwefel,	Silber,
Kohlenstoff,	Kupfer,
Platin,	Blei,

Eisen,	Wasserstoff,
Zinn,	Natrium,
Zink,	Kalium.

In dieser Reihe, der sogenannten electrischen Spann reihe wird je der vorhergehende Körper durch Berühru irgend einem der nachfolgenden negativ electrisch. Also Sa mit irgend einem andern Körper berührt, gelangt stets in gativ electrischen Zustand; Kupfer wird positiv electrisch m lenstoff, mit Platin u. s. w., negativ wird es mit Blei, Eisen, Zinl

347. Die Ordnung nach welcher die einfachen Stoffe Spannungsreihe auf einder folgen, hat aber noch eine weit deutung. Man findet, dass zwischen zweien Körpern im blicke der Berührung eine um so grössere electromotorisc tigkeit geweckt wird, je weiter sie in der Reihe von einar stehen; z. B. Platin mit Silber wird negativ electrisch, aber wird es durch Kupfer, noch stärker durch Zink erregt u. s.

Werden mehrere Glieder der Spannungsreihe zu eine verbunden, wie Platin-Kupfer-Zink, so muss an jeder Uebe stelle von einem Stoffe zum andern, electrische Erregung ei Die Resultante aller dieser Wirkungen ist aber stets gle Grösse der Erregung (der electrischen Differenz) der beid sersten Glieder, gerade so als befänden sie sich in unmit Berührung. Sind die äussersten Glieder gleichartig, z. E Zink, so findet gar keine Wirkung statt.

Beispiel: Man verbinde beide Platten des Kupfer-Zink-Condensat einen Kupferdraht, und messe die Stärke der hierdurch erhaltenen Lad verwechsle sodann den Kupferdraht mit irgend einem andern Metalldr einem Blei- oder Eisen- oder Platindrahte, oder auch mit einem aus Metallen gebildeten Bogen. Die Grösse der Ladung wird sich nicht än

An der Berührungsstelle von Zink und Eisen entsteht eine electr regung, deren Stärke durch die Differenz $2\,d'$ ausgedrückt werden ma das Eisen in leitende Verbindung mit der Erde, so muss folglich die Di der freien + E. des Zinks bis zu $2\,d'$ anwachsen. Gesetzt, der Ueber Erde werde durch einen Bleidraht vermittelt (und die electrische Differenz an der Berühr von Blei und Eisen sey $2\,d''$, so muss freie + E Dichtigkeit $2\,d''$ sich über die Oberfläche des E Zinks, wie über einen gleichartigen Leiter selben Gestalt ergiessen. Durch den Widerstand $2\,d'$ zwischen Zink u kann dieser Uebergang nicht aufgehalten werden, weil der Widerstand electromotorische Kraft $2\,d'$ bereits mit dem Bestreben der ausges Flüssigkeiten des Zinks und Eisens, sich wieder zu vereinigen im Gleich steht (341). Auf dem Zink muss sich daher freie + E. von der Dic $(d' + d'')$ ansammeln. Steht das Blei wieder mit Kupfer und dieses er Erde in Verbindung (Fig. 125) so bi an der Berührungsstelle der beiden let talle die electrische Differenz $2\,d'''$, + E. von der Dichtigkeit $2\,d'''$ verbr ungehindert über Blei, Eisen und Zi hergestelltem Gleichgewichte müssen diese drei Metalle mit freier positiver Electricität behaftet seyn, und zwar

Fig. 124.

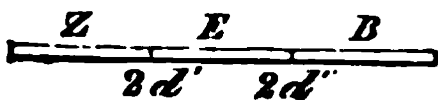
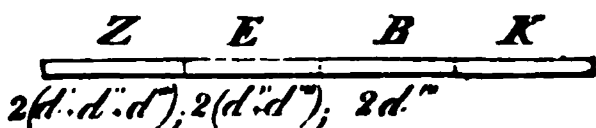


Fig. 125.



auf dem Zinke die Dichtigkeit 2 $(d' + d'' + d''')$; auf dem Eisen die Dichtigkeit 2 $(d'' + d''')$; auf dem Blei die Dichtigkeit 2 d'''; nur auf dem Kupfer ist gar keine freie Electricität. — Nun findet man, dass wenn das Zinkende dieser zusammengesetzten Metallkette mit der Zinkplatte des Condensators, das Kupferende mit der Kupferplatte des Condensators verbunden wird, die Wirkung, von der eines einfachen Zink- oder Kupferbogens nicht im geringsten verschieden ist; man muss hieraus schliessen, dass die Summe der Erregungen des Zinks mit Eisen, des Eisens mit Blei, des Bleis mit Kupfer, an Grösse gleich ist der Erregung (2 d) des Zinks mit Kupfer; und im Allgemeinen: dass die Stärke der Erregung zweier Glieder der Spannungsreihe, gleich ist der Summe der Erregungen aller Zwischenglieder.

Wird dem Kupferende der Metallkette, die mit Zink beginnt, ein nicht isolirter Zinkstreifen angereiht, so entbindet sich negative Electricität bis zu der Dichtigkeit 2 $d = 2\ (d' + d'' + d''')$ an der Berührungsstelle des Kupfers und verbreitet sich von hier aus ungehindert über alle Kettenglieder. Auf dem vordersten Zink verschwindet daher alle freie Electricität. Das Eisen erhält — E. von der Dichtigkeit 2 d'; das Blei — E. von der Dichtigkeit 2 $(d' + d'')$; das Kupfer — E. von der Dichtigkeit 2 d; die electrische Differenz der beiden äussersten Glieder ist folglich 0.

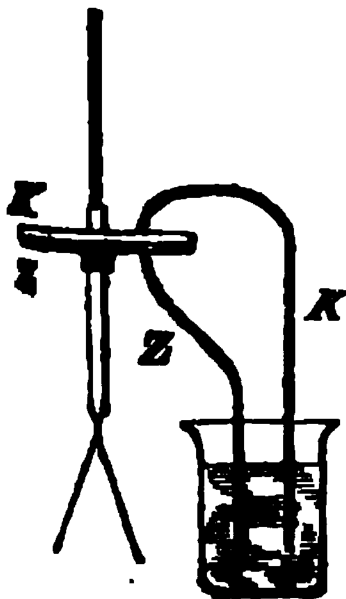
Auf ähnliche Weise erklärt es sich warum Platin oder Kohle und überhaupt ein Körper, der in der Spannungsreihe dem Sauerstoff näher steht als Kupfer und Zink, zwischen diesen beiden Metallen eingeschaltet, ihre electrische Differenz nicht verändern kann.

In welcher Ordnung mithin verschiedene Glieder der Spannungsreihe aneinandergereihet werden mögen, ihre electrische Differenz wird immer derjenigen der beiden Ende-Glieder bei unmittelbarer Berührung entsprechen. An der Berührungsstelle von Sauerstoff und Kalium muss folglich die grösste electrische Erregung entstehen, welche durch Körper die eine Stellung in der Spannungsreihe behaupten, überhaupt erzielt werden kann.

348. Die electrische Spannungsreihe gilt zwar vorzugsweise für die chemisch einfachen Stoffe, indessen kennt man auch mehrere zusammengesetzte Körper, die eine feste Stellung in derselben einnehmen, insbesondere unter den Oxyden und Schwefelmetallen; z. B. Zinnoxyd, Eisenoxyd, Braunstein, Schwefelkies, Schwefelblei u. s. m. sind in diesem Falle. Man findet, dass die Metalle durch Aufnahme von Sauerstoff oder Schwefel hinsichtlich ihres electrischen Verhaltens dem negativen oder Sauerstoffende der Spannungsreihe näher rücken. Z. B. Braunstein nimmt seine Stellung zwischen Platin und Kohlenstoff.

349. Die Mehrzahl der zusammengesetzten Körper, zumal im flüssigen Zustande, wenn schon sie bei der Berührung mit Metallen electrisch erregt werden, lassen sich nicht in die Spannungsreihe einführen.

Fig. 126.



Man tauche einen Kupferstreifen neben einem Zinkstreifen in gewöhnliches Wasser, doch so, dass sie sich nicht berühren können. Das obere Ende des ersteren werde sodann mit der Kupferplatte, das obere Fnde des andern mit der Zinkplatte des Condensators verbunden. Wenn nun das Wasser eine feste Stellung in der Spannungsreihe einnähme, so müste eine Ladung erfolgen, wie bei der unmittelbaren Verbindung

beider Condensatorplatten durch einen Kupferdraht. E
gerade der entgegengesetzte Fall ein; die Zinkplatte wi
die Kupferplatte positiv geladen.

Da beide Metalle bei diesem Versuche in keiner unmittelbare
standen, so folgt, dass die erhaltene Ladung das zusammengesetzt
der electrischen Einwirkung des Kupfers und Zinks auf das Wass
Auflösungen, Salzlösungen, Säuren verhalten sich qualitativ ganz i
der menschliche Körper, wenn er die Verbindung beider Conde
vermittelt, Holz, wenn es Feuchtigkeit genug enthält, um die Elect
ten, lufttrocknes Papier und viele andere Körper sind in diesem F

Durch feinere electrometrische Untersuchungen hat man gefun
Zink bei der Berührung mit den genannten Stoffen stets — E. aufn
wird durch Wasser und manche Salzlösungen ebenfalls negativ el
viel weniger stark als das Zink. Bei der Berührung mit andern,
dünnter Salpetersäure, wird es positiv. Platin erregt, wie es schein
und Salzlösungen negativ electrisch, während es selbst, und zw
Grade als das Kupfer, positiv wird.

350. Ein Condensator aus zwei gleichartigen Platte
zwei Kupferplatten bestehend, kann, wenn er durch ein
Körpern, die sämmtlich eine feste Stellung in der Span
einnehmen, geschlossen wird, keine electrische Ladung
Bewerkstelligt man aber die Verbindung beider Platten du
Wasser, Zink, wie in Fig. 126 (vorausgesetzt, dass n
Collectorplatte statt Zink, Kupfer genommen hat), so
stärkere Ladung erhalten, als Kupfer und Zink allein
hervorbringeu können.

Der Grund ist, weil die von der Einwirkung des W
stamende — E. des Zinks (Fig.
ungehindert über das mit dem Zi
dene Kupfer verbreiten kann, w
+ E. des Wassers eben so unge
das damit in Berührung stehende Kupfer überströmt.
Stärke der Erregung des Wassers durch beide Metalle
der Differenz 2 δ, die des Zinks mit Kupfer der Differ
muss sich an beiden Enden der Kette, ungeachtet sie
artigem Stoffe (in unserem Beispiele aus Kupfer) be
electrischer Unterschied von der Grösse 2 $(d + \delta)$
Wäre z. B. das eine Kupfer in leitende Verbindung mi
gesetzt, so würde sich auf der Oberfläche des andern
tricität von der Dichtigkeit 2 $(d + \delta)$ ansammeln.

Fig. 127.



351. Diese freie Electricität verbreitet sich mit derse
tigkeit und bis zur Grenze derselben Dichtigkeit über je
guten Leiter, welcher sich dem einen oder andern K
anschliesst. Werden daher mehrere electromotorische Sy
das Fig. 127, in gleicher Ordnung an einander gereihe
eine Ende mit der Erde in leitende Verbindung gesetzt
die freie Electricität des ersten Systems auf das zwei
folgenden über, die freie Electricität des zweiten Syste
dritte und alle folgenden u. s. f. Nach eingetretenem

wichtszustande muss sich folglich am äussersten isolirten Ende der Kette freie Electricität in einem Grade der Verdichtung angehäuft haben, welcher zur Anzahl verbundener electromotorischer Systeme in geradem Verhältnisse steht. Es seyen z. B. 10 auf einander folgende gleichartige Systeme, so beträgt die electrische Differenz der beiden Endpuncte 10mal 2 $(d + \delta)$. Der Grad electrischer Verdichtung, welcher mittelst einer auf diese Weise zusammengesetzten electrischen Kette erhalten werden kann, ist, wie man sieht, ohne Grenzen und hängt nur von der Anzahl mit einander verbundener Glieder ab.

352. Die zusammengesetzte electrische Kette wurde anfänglich fast nur in Form einer Säule aufgebaut, indem man eine Anzahl Zink-Kupferplatten, je das eine Paar von dem andern durch eine mit Flüssigkeit (Wasser, Salzlösung, verdünnte Säure) getränkte Papp- oder Filzscheibe getrennt, auf einander folgen liess. Zink und Kupfer waren der Bequemlichkeit wegen gewöhnlich zusammengelöthet.

Man hat seitdem noch mannigfaltige andere Formen der Zusammenstellung für bequem oder nützlich gehalten. Der Name electrische Säule ist indessen, ohne Rücksicht auf die Form, für jede Art zusammengesetzter electrischer Ketten geblieben.

Die beiden Endpuncte einer Säule nennt man ihre Pole, und zwar das Ende, an welchem positive Electricität abgeleitet werden kann, den positiven Pol (auch wohl Zinkpol, weil nach dieser Seite hin gewöhnlich eine Zinkplatte den Schluss der Säule bildet), das andere Ende, welches das negative Fluidum liefert, den negativen Pol oder Kupferpol.

353. Die electrische Säule ist ein Behälter für beide Electricitäten und liefert die eine wie die andere in mannichfaltigen Abstufungen der Dichtigkeit und, so lange ihre Wirksamkeit anhält, in fast unerschöpflicher Menge. Als Mittel, das Verhalten der Säule im Gleichgewichtszustande zu studiren, eignet sich vorzugsweise die sogenannte trockne Säule.

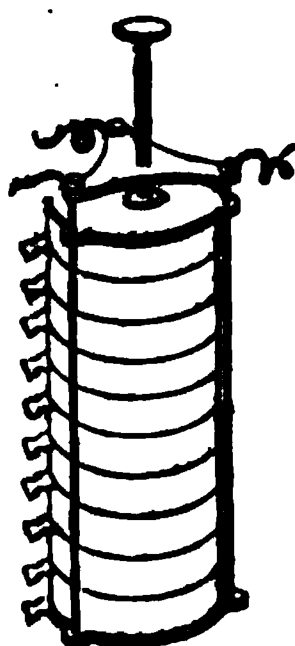
Sie kann auf folgende Weise verfertigt werden: Blätter von unächtem Gold- und Silberpapier werden mit der Papierseite zusammengeheftet und aus den so erhaltenen Tafeln, die also auf der einen Seite mit einem dünnen Ueberzuge an Zinn, auf der andern mit einem dünnen Ueberzuge von Kupfer versehen sind, Scheiben von beliebigem, z. B. von zwei Zoll, Durchmesser ausgeschnitten. Eine grosse Anzahl, 1000 — 2000, solcher Scheiben im lufttrocknen Zustande, je die Zinnseite der einen auf die Kupferseite der andern aufeinandergeschichtet und zwischen zweien etwas grösseren Metallplatten mittelst Seidenschnüren zusammengehalten, bilden eine trockne Säule. Die Wirksamkeit dieser Geräthschaft gewinnt nichts durch starkes Zusammenpressen der Scheiben. Wesentlich ist es aber, dass Metallfolie und Papier, so wie die

zusammengehefteten Papierseiten sich überall aufs rühren.

Man sieht leicht, dass bei dieser Säule das Pap der feuchten Schicht ersetzen soll, auch ist die Wirl selben von ganz ähnlicher Art, wie jene (349). Da je pier ein unvollkommnerer Leiter ist, als Wasser und sungen, so wird die von der trocknen Säule abgeleitet vergleichungsweise langsamer wieder ersetzt.

354. Eine trockne Säule (Fig. 128) an welcher

Fig. 128.



hundertsten Doppelscheibe eine Zunge c tallpapiers hervorsteht, werde auf das (Pl. III. Fig. 3.) z. B. den positiven Pol n stellt. Man berühre die zweitunterste Z Finger; die hundert ersten Scheiben bi gleichsam eine kleine Säule für sich, c Ende leitend mit dem Electrometer, derei mit Erde in Verbindung steht. Jenes emp Electricität aus einer Quelle, worin die hundertfachen Betrage der erregende einzelnen aus Kupfer, Zinn, Papier, Ku ten Electromotors verdichtet ist. Ma Grösse des Ausschlags der Goldblättche die dritte Zunge (die also die Gränze einer Säule v dert Scheiben bezeichnet), dann die vierte, die fünfte hierdurch erfolgenden Ablenkungen der Electromete den der doppelten, dreifachen, vierfachen electrische u. s. w. entsprechen.

Die Dichtigkeitszunahmen der Electricität stehen de so wie es die Theorie verlangt (351), im geraden Ve der Anzahl gleichartiger Elemente, woraus die Säule z setzt ist.

Wird der negative Pol dauernd berührt, so zeigt positiven die grösste electrische Anhäufung, welc Kraft der Säule bewirkt werden kann. Electricität v Dichtigkeit theilt sich jedem Leiter mit, der mit diesem bindung gebracht wird, vorausgesetzt nur, dass der selben nicht von unbegränzter Grösse ist. An allen ü ten der Säule findet sich ebenfalls nur positive Electric Dichtigkeit nimmt gegen den negativen Pol hin stu und an diesem Pole selbst, da er mit der Erde commu keine freie Electricität. Dreht man die Säule herum, mehr der negative Pol auf der Electrometerplatte ruh man den positiven Pol, so erfolgt ein eben so stark wie vorher, aber jetzt durch angehäufte negative Elec Dichtigkeit, ganz wie vorher, in arithmetischer Folg andere Ende hin sich vermindert. Hieraus geht herv

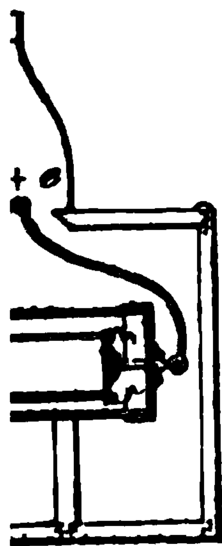
g eines Pols, nicht bloss von diesem, sondern von je-
n Elemente der Säule, eine der ganzen electrischen
selben entsprechende Menge von freier Electricität
orden ist. Diese Differenz, oder die ihr entsprechende
es electrischen Fluidums sey 2 D.
hre die Mitte der Säule. An dieser Stelle sinkt dadurch
it von D auf 0 herab. Zugleich findet man, dass das
ı des einen Poles um die Hälfte, nämlich von der Dich-
is zu D vermindert worden ist, während an dem an-
ı welchem sich vorher keine freie Electricität vorfand)
namige Fluidum ebenfalls mit der Dichtigkeit D zum
mmt. Jedem Elemente der Säule ist folglich, durch die
erührung des mittelsten Elementes, freie Electricität
tigkeit D entzogen worden.
he Weise lehrt der Versuch, dass durch die Berührung
andern Punctes der Säule, nicht nur dem betreffenden,
leich jedem andern Elemente, freie Electricität von der
ırungsstelle herrschenden Dichte entführt wird.
ın die Säule und setzt dann einen isolirten Leiter von
Umfange mit irgend einem Elemente derselben in Ver-
geht eine Menge von Electricität darauf über, von der
ıb die ganze Säule mit Electricität von derselben Dich-
an der Berührungsstelle, wäre behaftet gewesen.

Eigenschaften der Säule sind nothwendige Folgen des schon
etrachteten Verhaltens eines einzelnen electrischen Paares. Es
ligkeit der freien Electricität an irgend einem Puncte der Säule;
der Berührung mit einem Körper, dessen electrische Capacität
eränderte Dichtigkeit an dieser Stelle, so ist, wenn die electrische
Säule selbst mit r bezeichnet wird: $(u - u') r = u' R$.

$: \frac{u r}{R + r}.$

$R = r$, so entweicht von jedem Elemente der Säule eine der Dich-
rechende Electricitätsmenge.

s **Bohnenberger'sche Electroscop.** Die trockne Säule bildet den wesentlichsten Bestandtheil einer sehr empfindlichen electroscopischen Vorrichtung, welche nach dem Namen ihres Erfinders; das Bohnenberger'sche Electroscop genannt wird. Fig. 129 zeigt dieses Instrument in der Gestalt, welche demselben gegenwärtig nach Fechners Vorschrift gegeben wird (Pogg. Ann. Bd. XXXXI. S. 225). Eine horizontal liegende trockne Säule aus 800 — 1000 Doppelscheiben von unächtem Gold- und Silberpapier, jede ungefähr 2 Zoll im Durchmesser haltend, gebildet, ist in einem gefirnissten



Glascylinder eingeschlossen und dadurch isolirt. Beide sind durch Messing-Kappen luftdicht geschlossen. Di stehen mit den Polen der Säule in leitender Verbindı Aussenflächen derselben sind dicke, an Gelenken auf bewegliche Drähte befestigt, mittelst welcher die El den kleinen Scheiben + e und — e geleitet wird, die Gelenken hängen und dadurch verschiedene Stellung so wie auch beliebig nahe zu einander gerückt wer Die Säule sitzt in einem Kasten von Holz, aus welcl oberen Enden der Drähte nebst den Scheibchen durch ei Oeffnung isolirt hervorgehen. Die eine dieser kleinen begreiflicher Weise stets mit positiver, die andere ste tiver Electricität geladen. Zwischen beiden hängt ein G von wenigstens 3 Zoll Länge und nicht mehr als $\frac{1}{2}$ Es steht mit einer auf der Glasglocke, ganz so wie bei troscopen, isolirt aufsitzenden Metallplatte in leitendem hange.

Die gleichzeitige und gleich starke Einwirkung bei Säule auf das Goldblättchen, gestattet keine Vertheilun lichen Electricitäten desselben. Es schwebt daher, s keine Electricität von Aussen zufliesst, in der Mitte zı den Scheibchen. So wie man aber der oberen Metallp ringste Menge Electricität mittheilt, wird es von dem gen Pole abgestossen, von dem ungleichnamigen ang

Eine Bewegung nach dem — Pole beweist also die von freier + E., eine Bewegung nach dem + Pole die von freier — E. in dem Goldblättchen.

Das Bohnenberger'sche Electroscop, auf die beschriebene We besitzt einen vordem nicht gekannten Grad der Empfindlichkeit. I theils von der geringen Breite des Goldblättchens ab, welches Electricität sich doch vorzugsweise an den Kanten anhäuft, be verringertem Gewichte, kaum weniger davon aufnimmt, als ein mal breiteres Blättchen; theils aber auch von der Dicke der tr Der Theorie nach sollten zwar zwei Säulen, aus Doppelscheiben Grösse zusammengesetzt, wenn diese nur von gleichartiger Besc der Zahl nach gleich sind, an den Polen eine ganz gleiche electr keit besitzen und diese folglich auch auf die Scheibchen + e Electroscops übertragen. Allein da fortwährend ein Theil des fl an beiden Endpuncten durch die Luft entführt und der Wiederer schlecht leitende Papiermasse einer gewissen, wenn auch gering so kommt es, dass bei Anwendung einer dickeren Säule, die Elec hervorstehenden Enden der Drähte das Maximum ihrer Dichtigk behauptet.

Schraubt man eine reine, glatt polirte Kupferplatte von 3 Zol auf dieses Instrument und bedekt sie mit einer ähnlichen Zinkplat das Abheben der letzteren eine sehr starke Ablenkung des Goldbl so leicht überzeugt man sich durch den Versuch, dass die Stärke d mit der Grösse der Berührungsflächen (wagerechtes Abheben im setzt) zunimmt.

Holz, Papier, Glas oder irgend ein anderer Körper mit gen Oberfläche vor einer auf das Electroscop geschraubten Metallpla

Zinkplatte, ohne Reibung abgehoben, wird in der Regel einen deutlichen Au schlag verursachen, wobei das Metall gewöhnlich negativ electrisch wird.

Um mittelst des Bohnenberger'schen Electroscops die Einwirkung eines M talls auf eine Flüssigkeit zu prüfen, bedient man sich eines Condensators, de sen Collectorplatte aus dem betreffenden Metalle verfertigt ist; als Deckelpla dient eine möglichst dünne, geschliffene Glasscheibe, auf welcher die Flüssigk entweder unmittelbar ausgebreitet wird, oder die man mit durch die Flüssigk benetztem Löschpapier bedeckt. Die Verbindung wird dann wie gewöhnli durch einen Metalldraht hergestellt.

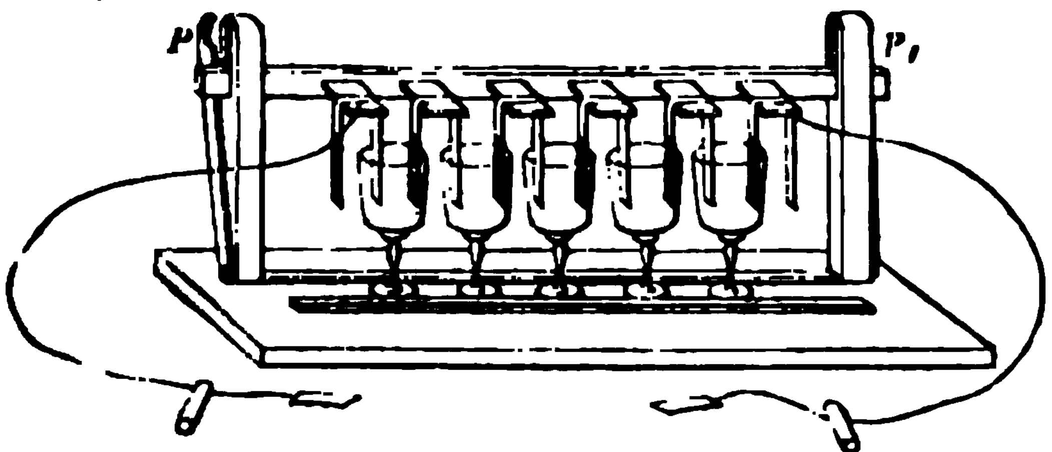
356. Obschon der Grad electrischer Verdichtung, der durch Z sammensetzung einer genügenden Anzahl Erregerpaare erzi werden kann, theoretisch betrachtet ohne Gränzen ist, so wür doch, um mittelst einer Säule Electricität von der Dichte zu gewi nen, wie man sie z. B. auf dem Conductor der Maschine erhä eine ausserordentlich grosse Anzahl Paare erforderlich seyn. den Polen der meisten Säulen, die verfertigt werden, zeigt si daher eine Electricität von vergleichungsweise sehr geringer Spa nung. Bei den trocknen Säulen, da sie keinen grossen Raum ei nehmen und ihre Wirksamkeit lange Zeit (unter günstigen Verhä nissen viele Jahre hindurch) anhält, lässt sich die Aufeinande schichtung sehr vieler Paare am leichtesten bewerkstelligen.

Durch Errichtung von Säulen, aus 8 — 10 tausend Paaren b stehend, hat man es dahin gebracht, dass auf die gleichzeitig b den Polen genäherten Hände ein Strom kleiner Funken überging Mit Hülfe eines electrischen Verstärkungsapparates (Frän lin'sche Tafel; Condensator) kann man indessen auch die Elect cität kleinerer Säulen bis zum Ueberspringen eines lebhaften Fu kens verdichten; und da die von der Säule abgeleitete Electricit sich mit Schnelligkeit immer wieder ersetzt, so lassen sich solc Versuche oft hinter einander wiederholen.

357. Electrische Ketten, aus Metallen und Flüssigkeiten z sammengesetzt, können ohne grosse Umstände nicht sehr vi Glieder enthalten. Die freie Electricität an ihren Polen äussert a diesem Grunde in der Regel (unmittelbar) keine sichtbare Wirku auf das Goldblattelectrometer. Um das statische Verhalten ein solchen Säule zu prüfen, lässt sich daher der Condensator nic entbehren.

Die Figur 130 zeigt eine kleine zusammengesetzte Kette, welc

Fig. 130.



so eingerichtet ist, dass vermittelst Leitungsdrähten j
derselben für sich oder auch mehrere oder alle Glieder
mit dem Condensator verbunden werden können. Sämı
sammengelöthete Zink- und Kupferstreifen hängen auf
henden Zungen einer Latte PP′, die zwischen Einschnitte
ler P und P′ auf und nieder beweglich ist. Die Metalle l
diese Weise gleichzeitig in die Flüssigkeiten eingetaucht
zeitig wieder herausgehoben werden; eine Anordnung, w
halb nothwendig ist, weil nasse Säulen (aus Gründen,
der Folge erklärt werden können) nur kurze Zeit in v
samkeit bleiben. Je ein Kupferstreifen mit dem Zinks
folgenden Paares tauchen in die Flüssigkeit desselben
ses, wodurch die Ordnung: Zink, Kupfer, Flüssigkeit, Z
hergestellt wird. Die Electricität an den Polen dieser Säı
mit Bequemlichkeit aus nicht mehr als 20 — 30 Glieder
kann, ist so schwach, dass das Holz im lufttrocknen Zı
vollkommener Nichtleiter dafür angesehen werden kann

Wird der Condensator nach einander durch ein, zwe
mehr Paare geladen, so findet man, was sich bei deı
Säule schon durch die unmittelbare Einwirkung auf das
ter gezeigt hat, dass die Ladungen der Anzahl der Pa
tional sind, und dass also die electrische Differenz von ei
zum andern sich stufenweise vergrössert.

Es ist bei diesen Versuchen ganz gleichgültig, ob die
drähte beide oder ob nur einer derselben isolirt zu dem Cc
geführt wird. Man sieht hieraus, dass die electrische Dil
ganzen Kette, gleich wie die eines einzelnen Gliedes
eine beständige Grösse ist.

Wird irgend ein Glied der Kette in verkehrter Ordnı
schaltet, d. h. in der Reihe: Kupfer, Zink, Flüssigkeit, Zir
so ist die electromotorische Thätigkeit desselben derje
übrigen Theils der Kette entgegengesetzt, und hebt fol
Theil davon auf. Z. B. eine Säule von 20 Paaren, wo
eine verkehrt eingesetzt ist, besitzt die electrische Diff
um 18 Paaren.

Die electrische Kraft der Säule ändert sich begreiflic
auch mit der Natur der Stoffe, woraus sie gebildet ist.
man z. B. das Kupfer mit Platin oder besser noch mit
vergrössert sich unter sonst gleichen Verhältnissen die
Differenz, weil diese Körper in der Spannungsreihe wei
Kupfer von dem Zink entfernt liegen.

Die Beschaffenheit der Flüssigkeit ist nicht wenig
deutung, weil verschiedene Flüssigkeiten auf die ein
Metalle eine sehr ungleiche electrische Einwirkung äus
das Platin wird vom Wasser in geringem Grade negati
dünnter Schwefelsäure aber, und mehr noch von Salj

s Zink wird negativ bei der Berührung mit Was-
einer Kette, nach der Ordnung: Zink, Platin, Was-
engestellt, ist folglich die Einwirkung zwischen
r derjenigen der übrigen Stoffe entgegengesetzt.
iber das Wasser mit Säure, so addirt sich ihre
Thätigkeit auf das Platin zu den an den übrigen
ttfindenden Erregungen. Die electrische Differenz
chsen.
össe der in Berührung stehenden Leiter hat nicht
nfluss auf die Stärke der bewegenden Kraft einer
e an ihren Polen hervortretende electrische Diffe-
tärke der Erregung an jeder Contaktstelle hängt
zahl Berührungspuncte, sondern lediglich von der
r der in Berührung stehenden Stoffe ab (343).
erührungspunkte vermehren sich aber die Ueber-
das erregte electrische Fluidum; wenn schlechte
igkeiten, Bestandtheile einer electrischen Kette
her die Flächengrösse gleichwohl einen wesent-
uf die Schnelligkeit, womit die entladene Säule
ing wieder annimmt. Man begreift hiernach, dass
Mengen von Electricität mittelst einer electrischen
ig setzen zu können, es nothwendig wird, Metall-
k und Kupferstreifen) von bedeutendem Umfange,
ber in die Flüssigkeit einzutauchen, ungeachtet
' das Electrometer nicht im geringsten dadurch
kann. Mannigfaltig veränderte Formen, die man
der electrischen Säule gegeben hat, bezweckten
ir die entwickelten Electricitäten, aus dem Raum
einen möglich erleichterten Abfluss zu gewinnen.
trische Spannung an den Endpuncten selbst der
Säulen, die man bis jetzt erbaut hat, ist so gering,
messbare Luftschicht den Uebergang beider Elec-
nder vollkommen unterbricht.
k der Verbindung oder der Trennung beider Pole
wohl die Erscheinung eines Funkens.
iessungs- oder Trennungs-Funken bei einer klei-
wenigen Paaren bestehenden Säule sichtbar zu
öthig, den Uebergang der Electricität von einem
ı durch gut leitende Spitzen zu vermitteln.

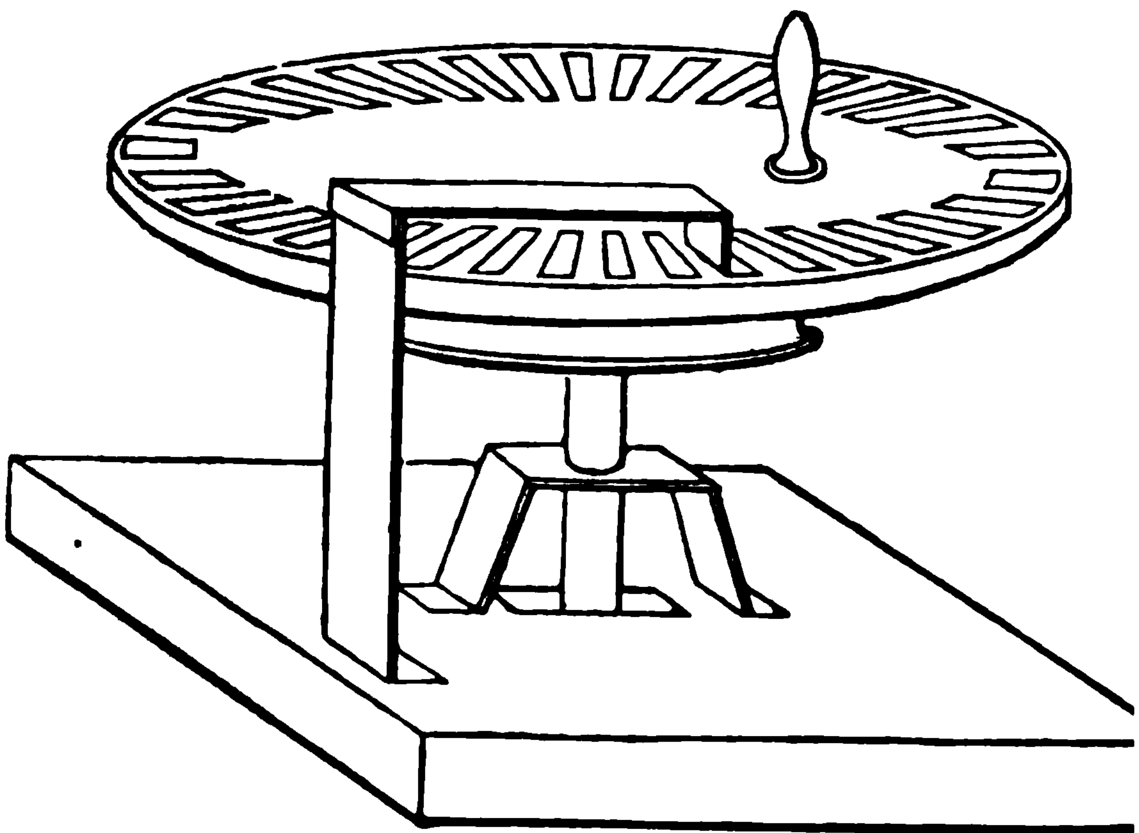
r Kupferplatte des einen Pols eine Vertiefung anzubringen,
nen dicken Tropfen Quecksilber aufnehmen zu können. In
ı dünner, am andern Pole angelötheter Kupfer- oder Platin-
und wieder herausgezogen. Jede solche Schliessung oder
bewirkt einen Funken. Es ist gut, die Bodenfläche des klei-
twas salpetersaurem Quecksilber zu amalgamiren, um da-
zwischen Kupfer und Quecksilber inniger zu machen und
lectricität zu erleichtern.

Viele und grosse Paare erzeugen, oftmals hinter ein ken von so lebhaftem Glanze, dass sie mitten in der Fl Kerze sichtbar bleiben. Uebrigens hat man gefunden, da recht grosse Paare, d. h. recht grosse, in die Flüssig senkte Metallstreifen, das Auftreten starker Funken we günstigen, als eine grössere Anzahl von kleinem Umf sieht hieraus, dass der Schliessungs- und Trennungs-F niger eine stark gespannte Electricität als vielmehr re Electricitätsmengen erfordert.

359. Wenn man beide Pole gleichzeitig mit den (d wasser befeuchteten) Fingern berührt, empfindet man Augenblicke einen eigenthümlichen Nervenreiz, welcher Einflusse einer sehr starken Säule bewirkt, der Empfin schwachen electrischen Schlages ganz ähnlich ist. Dies aber nur momentan, auch bei fortdauernder Berührung. Wiederholung des Versuchs, so oft und so schnell hint es geschehen mag, erneuert die Empfindung; und diese in schneller Folge auf einander lassen sich bis zur Un keit steigern. Dabei bemerkt man in den Theilen des welche als Verbindungsglied beider Pole der Kette di zitternde Bewegung oder ein fortdauerndes Zusammens Wiederausdehnen der Muskeln. Zur Anstellung dieser eignet sich vorzugsweise das von Neeff ersonnene (Pogg. Ann. 36, S. 352.)

Eine horizontale Kupferscheibe (Fig. 131) 1½ Linie dick 6½ Zo

Fig. 131.



messer, dreht sich um eine vertikale Axe, welche, ebenfalls von Kup Scheibe aus einem Stücke besteht. Ein Messingbügel, der auf einem festigt ist, hält sie in ihrer Richtung. In der Mitte hat dieses Brett e fung, mit Kupfer ausgefüttert, worin die konisch zugespitzte Axe und in welche etwas Quecksilber gegossen wird, um mittelst des ei

.eitungsdrahtes eine innige metallische Verbindung des einen Pols einer Säule mit der horizontalen Scheibe zu bewerkstelligen. Am Rande der Scheibe sind 6 Oeffnungen angebracht, von 3 — 4½ Lin. Breite und in der Richtung der Radien 10 Lin. Länge; sie sind sämmtlich mit hartem, glattem Holze ausgefüllt und lassen zwischen sich nur schmale metallische Uebergänge. Seitwärts befindet sich ein 7 Linien breiter, ½ Linie dicker Kupferstreifen, dessen eines Ende auf dem Fusse von erforderlicher Haltbarkeit befestigt ist, während das andere, umgebogene Ende auf dem Rande der Scheibe, so wie die Figur zeigt, ruht. Mit diesem Streifen wird der andere Pol der Säule verbunden. — Man sieht, dass in Folge dieser Anordnung bei jeder Umdrehung der Scheibe die electrische Kette 36mal geschlossen und wieder geöffnet wird. Da nun in jeder Sekunde leicht mehrere Umdrehungen stattfinden können, so kann man es dahin bringen, diese Abwechslungen äusserst schnell auf einander folgen zu lassen. Jede Schliessung oder Trennung bewirkt den Uebergang eines Funkens, aber bei Anwendung starker Säulen und bei schneller Umdrehung ein ununterbrochener Strom von glänzendem Lichte zwischen der Scheibe und dem Entladungsstreifen überzutreten scheint.

Um mit diesem Apparat den electrischen Nervenreiz zu verstärken, fülle man zwei Becher von Metall mit schwach gesäuertem oder Salzwasser, und verbinde den einen vermittelst eines Leitungsdrahtes mit dem Blitzrade, den andern mit dem Pole einer electrischen Säule, deren anderes Ende mit dem andern Ausgangspuncte des Blitzrades in Verbindung steht. Man taucht dann die Finger gleich in beide Becher, während die Scheibe gedreht wird. Man hat es ganz in seiner Gewalt, durch Vergrösserung und Vermehrung der electrischen Paare, so wie, bis zu einer gewissen Gränze hin, durch Beschleunigung der Umdrehung, den Effect beliebig zu verstärken.

360. Auf die empfindlicheren Theile des Organismus äussert schon die mittelst der gewöhnlichen electroscopischen Werkzeuge gar nicht wahrnehmbare, von der electromotorischen Thätigkeit eines einzigen Erregerpaares abstammende Electricität einen unverkennbaren und oft sogar sehr auffallenden Einfluss.

Man lege die breite Fläche eines silbernen Löffels auf die Zunge und berühre mit der Zungenspitze ein Stück Zink, dessen anderes Ende mit dem Stiele des Löffels in Berührung steht. Man wird sogleich einen eigenthümlichen, stechenden, säuerlichen Geschmack empfinden, der nicht zur Natur des Zinks gehört, denn er verschwindet, so wie man die Berührung beider Metalle unterbricht. Derselbe Geschmack wird empfunden, wenn man das Zinkende des Erregerpaares mit der Zungenspitze berührt, das Silberende mit durch Salzwasser befeuchteten Fingern ergreift.

Auch die Berührung des Zinks mit der Zunge ist zur Hervorbringung dieser Erscheinung nicht wesentlich. Man giesse Wasser in eine kleine Schale von Zink und berühre die Oberfläche der Flüssigkeit mit der Zunge, während man den mit feuchten Fingern gehaltenen Löffel an die Aussenwand der Schale hält; sogleich wird der säuerliche, brennende Geschmack entstehen.

Man halte ein Stück reines Zink zwischen die Augenlieder. So wie man dasselbe mit einem Stücke Silber, das mit feuchten Fingern gehalten wird, berührt, oder die Verbindung wieder trennt, bemerkt man vor den festgeschlossenen Augen einen Lichtblitz.

Man lege auf die Mitte einer ziemlich grossen Zinkscheibe ei-

nen Thaler und auf diesen einen Blutegel. So wie dieser, griffe herunterzukriechen, mit dem Zink in Berührung kom dadurch die Kette schliesst, wird er convulsivisch zurückp

Aehnliche Muskelkontraktionen hat man bei vielen Thier vorgebracht; bei einzelnen Gliedmassen sogar noch eine Zeit nach dem Tode. Kaltblütige Thiere, insbesondere Frösc halten ihre electrische Erregbarkeit noch Stunden lang na Tode. Froschschenkel, bei welchen die Nerven blossgeleg zeigen gegen jede electrische Einwirkung einen so hohe der Empfindlichkeit, dass man sie früher als das geeignetst mittel zur Wahrnehmung electromotorischer Thätigkeit ben

Der electrische Nervenreiz gab die erste Veranlassung zur Entdec Berührungselectricität. Diese Entdeckung ist im Jahre 1790 von Aloys i vani, Professor der Anatomie zu Bologna, ganz zufällig gemacht wo bemerkte nämlich, dass präparirte Froschschenkel, die mittelst kupfe cken an einem eisernen Gitter aufgehängt waren, in Zuckungen geriethe sie mit dem Eisen in Berührung kamen; und da er schon früher die B tung gemacht hatte, dass ähnliche Zuckungen oder Muskelzusammenzi durch die Maschinenelectricität beim Durchgange durch die Nerven eines el getödteten Frosches bewirkt wurden, so verfiel er sogleich auf die Id auch bei der neuen Erscheinung, die sich ihm darbot, Electricität im Spi müsse. Nach seiner Vorstellung bildete aber der thierische Organism die Quelle dieser Electricität; er dachte sich Nerven und Muskeln, ähnl Belegungen einer Leidner Flasche mit entgegengesetzten Electricitäten deren Uebergang zu einander durch den metallischen Leiter vermittelt Galvani's Entdeckung verbreitete sich sehr schnell, und die von pothetisch angenommene thierische Electricität wurde Galvanism Galvanische Electricität genannt. Daher die Ausdrücke: Galva Nervenreiz; Galvanische Kette, für einfache electrische Kette; nisiren für Electrisiren mittelst einer einfachen oder auch einer zu gesetzten Kette. — Diese Bezeichnungen blieben, wenn schon Galva pothese schon im Jahre 1797 von Alexander Volta in Pavia auf's teste widerlegt wurde, indem er bewies, dass zur Hervorbringung gal Erscheinungen eine Combination von wenigstens drei verschiedenartig einer in sich selbst zurückkehrenden Kette verbundenen Leitern erford Zwei davon oder auch nur einer dürfen Metalle seyn; das thierische G ein präparirter Froschschenkel, bildet den dritten. Volta zeigte dan des Strohhalmelectrometers und des von ihm erfundenen Condensators Berührungsstellen verschiedenartiger Leiter die eigentliche Quelle die tricität sind, welche Galvani irrigerweise in dem thierischen Organism und in welcher er so, wie viele seiner Anhänger, das eigentliche Princi bensthätigkeit entdeckt zu haben hofften. Zwei Körper, an deren Con der electrische Zersetzungsprocess vorgeht, nannte Volta einen Elec tor, und er wies nach, dass irgend zwei verschiedenartige Leiter, i rung gebracht, die Rolle eines Electromotors übernehmen, so wie dass wechselseitige Einwirkung erst mit der Trennung wieder aufhört. Er dass die Körper hinsichtlich ihrer Erregungsfähigkeit sich gleichwohl wesentlich verschiedene Weisen verhalten, und theilte demnach die L Electricität in zwei Klassen. Als Leiter der ersten Klasse bezeichnete e talle, Kohle, Graphit, Braunstein, kurz die in der Spannungsreihe en Körper. Zur zweiten Klasse gehören alle übrigen, namentlich die flüssi ter. Er erklärte, warum Leiter der ersten Ordnung, zu einem Ringe, einer in sich selbst zurücklaufenden Kette verbunden, ihre Wirkungen seitig zernichten, und bewies, dass die Möglichkeit, einen Kreislauf, d. wechselseitigen Uebergang der erregten Electricitäten zu einander in

en Kette hervorzubringen, wesentlich an die Eigenschaft der flüssigen knüpft ist, keine Stellung in der Spannungsreihe einzunehmen. Die insicht in dieses Verhalten führte Volta bald auf den Gedanken, durch stellung mehrerer Paare eine verstärkte Electricität zu gewinnen; stand der zusammengesetzte electromotorische Apparat, welcher nach n seines Erfinders Volta'sche Säule oder Batterie genannt wurde. chon hielt sich übrigens nicht ausschliesslich an die Form der Säule, brauchte auch die Fig. 130 dargestellte Abänderung seines Apparagenannten Becherapparat.

e Säulen wurden einige Jahre später, wie es scheint, zuerst von Rit- Delüc und noch später Zamboni haben von Neuem die Aufmerkrauf gelenkt, indem sie dieselben zur Hin- und Herbewegung eines ischen beiden Polen benutzten. (Gehl. phys. Wört. B. 8. S. 121.) Die ule wird daher sehr häufig nach dem einen oder andern, insbesondem letzteren dieser beiden Physiker benannt.

wegenden Princip in der electrischen Kette gab Volta den Namen otorische Kraft, und dachte sich, dass durch diese eigenthümgkeit, welche im Augenblicke der Berührung zweier Körper erwacht, das natürliche electrische Fluidum an den Contaktstellen zersetzt, ch beide Bestandtheile desselben nach entgegengesetzten Richtungen en würden. Er schrieb also der electromotorischen Kraft die Fähigjenige Eigenschaft der entgegengesetzten Electricitäten, welche man ist gerade als die bezeichnendste für ihre Natur erkannt hat, nämlich seitige Anziehung und Bindung, (vorübergehend wenigstens) in eine itige Abstossung zu verwandeln.

Widerspruch in der Volta'schen Theorie hat Fechner gelöst, indem eis führte, dass die an den Contaktstellen ausgeschiedenen Electriz so, wie es die bekannten Gesetze des electrischen Gleichgewichhen, sich binden, und dass eben nur aus diesem Grunde ein kleiner s frei beweglicher Electricität stets vorhanden seyn muss (340). Die rische Kraft verlor hierdurch den Schein des Räthselhaften und ren und durfte fortan betrachtet werden als eine Aeusserung der eit der Molekularkräfte und ihres Bestrebens nach Ausgleichung. n Gesichtspuncte aufgefasst, ist die electrische Differenz nichts anin sinnlich wahrnehmbarer Ausdruck des Grades der natürlichen Verit zweier Stoffe, gleichwie sich eben diese Verschiedenheit in der wechselseitigen chemischen Anziehung zu erkennen gibt.

on Volta begründete und nach ihm hauptsächlich von Berzelius, 'aff in Kiel und zuletzt von Fechner weiter ausgebildete Theorie ischen Electricität wird die Contakttheorie genannt. Sie umfasst ommen nur den statischen oder Spannungs-Zustand der electrischen n wenn sie auch die Grundsätze feststellt, nach welchen die an den llen ausgeschiedenen Electricitäten sich fortzupflanzen und in der nen Kette zu ihrem Ursprunge zurückzukehren vermögen, so gibt sie r eine befriedigende Auskunft über die Bedingungen der Fortdauer regungen, noch lässt sie irgend Wirkungen derselben voraussehen. Worte: diese Theorie unterrichtet nur von der Gegenwart einer be- Kraft und bestimmt den Sitz derselben, verfolgt sie aber nicht in gungseffecten.

Vorwurf ist der Contakttheorie schon frühzeitig gemacht worden, als electrischen Kette ein mächtiges chemisches Agens erkannte, aber emerkte, dass ihre Wirksamkeit abnimmt und dass diese Abnahme enderung der chemischen Beschaffenheit ihrer Glieder unzertrennn begann sofort den einfachen Ausdruck der Volta'schen Ansicht zu Da überdiess die Wiederholungen der Volta'schen Grundversuche ll gleich günstigen Erfolg hatten, so fanden es manche Physiker bellgemeine Richtigkeit derselben oder doch die Regelmässigkeit ihrer

Wiederkehr zu verdächtigen. Erscheinungen, deren Abhängigkei veränderlichen Naturgesetze Volta mit ungewöhnlichem Scha mathematischer Consequenz nachgewiesen hatte, glaubte man zufälligen äusseren Ursachen, z. B. dem Einflusse feuchter Luft des Zinks, im Allgemeinen einem chemischen Verbindungsproce zu dürfen. Und um diese Ansichten geltend zu machen, scheu nicht, die aller gezwungensten Erklärungen, den einfachen Lehr taktttheorie gegenüberzustellen (Handwörterb. der Ch. v. L. u. P So entstand die sogenannte Oxydations-Theorie. Sie h Grundsatz hervor, dass dem electrischen Vertheilungs-Zustand chemischer Verbindungprocess, z. B. die Auflösung des einen Me ausgehen müsse, während im Sinne der Contakt-Theorie gerade stattfindet. Fabroni ist der Gründer dieser chemisch-elec pothese, welche nachher hauptsächlich von Ritter, Wollas Rive näher erörtert und vertheidigt worden ist.

Das Widersprechende in beiden Ansichten gab im Laufe des dieses Jahrhunderts die Veranlassung zu sehr lebhaften und fast tigkeiten unter den Physikern. Gegenwärtig hat die Oxydations sie auch vielleicht noch nicht ganz aufgegeben seyn sollte, doc Theil ihrer Anhänger verloren.

Wesentlich verschieden von der Oxydations-Theorie sind di electrischen Theorien Davy's und in der neuesten Zei welche die Fortdauer der electrischen Thätigkeit der galvanis der Zersetzung des flüssigen Leiters abhängig machen, dabei jed dass diesem chemischen Processe ein Streben, denselben hervorz ein Zustand electrischer Vertheilung vorangehen müsse. Wir w Theorie, welche, in ihren Hauptpuncten richtig aufgefasst und als eine Erweiterung der Contakt-Theorie gelten kann, in der kommen.

361. Electro-chemische Theorie. Nachdem den hatte, dass die electrische Differenz zweier versc Stoffe nur von ihrer chemischen Natur und in keine ihrem Umfange oder der Anzahl Berührungspuncte dass sie unveränderlich fortdauert, so lange keiner berührenden Stoffe eine chemische Veränderung erl die Folgerung nahe, dass selbst die kleinsten Theile dass ihre Atome, neben einander gelagert, in entg electrische Zustände treten müssen, und dass die elec renz der beiden Endpuncte oder Pole eines zusamm Atoms (einer chemischen Verbindung) mit der che schiedenheit der Bestandtheile in einer festen Bezie in der Art, dass die Kenntniss der Grösse des electris satzes zweier Stoffe, welche, wie bekannt (340), stimmbar ist, zugleich den Grad ihrer wechselseiti wofür man vordem kein Maass hatte, angebe. Die elec nungsreihe richtig zusammengestellt, gewährt eine U electrischen Beziehungen der Grundstoffe zu einander. fication derselben nach der Ordnung der Spannung daher zugleich das natürlichste chemische System.

Diese Vorstellungen enthalten die Basis der elec schen Theorie, welche man gegenwärtig als den S

ng der chemischen Verbindungs-Weisen der Körper be-

dieser Theorie fliesst als unmittelbare Folge, dass die Kör-
nur zu zwei verbinden, oder, wenn Verbindungen aus
s zwei Bestandtheilen vorkommen (wie ja auch Electro-
aus mehr als zwei Gliedern bestehen können), dass sie
erbindungen einer höhern Ordnung sind.
eine Bestandtheil eines zusammengesetzten Körpers im
wichtszustande ist fortdauernd electropositiv, der andere
rnd electronegativ. Wenn gleichwohl unter gewöhnlichen
issen keine Spur weder des einen noch des andern Prin-
einem zusammengesetzten Leiter wahrnehmbar ist, so
ich diess aus dem Umstande, weil in der Masse desselben
emente nicht so geordnet sind, als eine wirksame elec-
ette es fordert.
her Bestandtheil einer binären Verbindung sich im electro-
und welcher im electronegativen Zustande befinde, er-
n aus der Spannungsreihe. Ersteren nennt man das elec-
tive Element, auch das electropositive Radikal,
das electronegative Element oder electronega-
dikal; z. B. im Wasser bildet der Sauerstoff das electro-
der Wasserstoff das electropositive Element.
Ausdrücke electropositiver und electronegativer
r werden aber häufig auch in einer allgemeineren Bedeu-
nommen, indem man den ersteren solchen Stoffen beilegt,
er Spannungsreihe und also auch in der Art ihrer Verwandt-
n dem Kalium (d. h. dem positiven Ende) näher stehen,
trium, Barium, Zink, Eisen, Kupfer u. s. w., den zweiten
n solchen, welche in ihrem Verhalten mehr mit dem Sauer-
übereinstimmen, wie Schwefel, Chlor, Arsenik u. s. w.

Von der Electricität im Bewegungszustande.

2. Die Entladung eines mit Electricität behafteten Körpers durch
ittlung eines Leiters beruht auf der Eigenschaft des letzte-
eine Fortpflanzung der electrischen Wirksamkeit durch seine
e zu gestatten, oder, wenn man von der Vorstellung ausgeht,
diese Wirksamkeit einem eigenthümlichen, gewichtslosen
e (294) anhafte, auf der Fähigkeit desselben, nämlich des
ischen Fluidums, sich dem Leiter entlang bewegen zu können.
er Electricität im Zustande der Bewegung pflegt man den Na-
des electrischen Stroms zu geben. Werden z. B. die beiden
uctoren der Reibungsmaschine, oder beide Belegungen einer
denen Flasche, oder die Pole der Säule durch einen guten Lei-
verbunden, so entsteht ein electrischer Strom, wodurch sich
natürliche electrische Gleichgewicht wieder herstellt.

Die Ausgleichung beider entgegengesetzten Zustände
gentlich immer die Folge des Uebertritts zweier Ströme zu
der, eines positiven und eines negativen electrischen Stroms
ist es jetzt völlig ausgemacht, dass beide sich gleichzeitig in
gung setzen, so dass man annehmen kann, sie werden sic
ter Voraussetzung gleich guter Leitung von beiden Seiten)
Mitte des Wegs begegnen. Jedoch eben aus dem Grunde, w
Herstellung des natürlichen Zustandes das gleichzeitige Au
beider Ströme stets als nothwendige Bedingung voraussetz
nügt es in der Regel, nur den einen besonders hervorzul
Unter Richtung des electrischen Stroms versteht m
her vorzugsweise die Richtung, nach welcher sich die po
Electricität bewegt.

363. Die unmittelbare Ursache, die bewegende Kraft des e
schen Stroms ist die Repulsivkraft gleichartiger electrischer
welche bekanntlich mit dem Quadrate der Dichtigkeit zunim

Auf einem isolirten, mit Electricität behafteten Conducto
sert sich die Repulsivkraft als Druck gegen die nicht leitend
gebung, als Spannung. Wird der Leitungswiderstand an i
einer Stelle genügend vermindert oder ganz entfernt, so e
die Entladung.

Sind zwei ungleichnamig geladene Conductoren einander g
übergestellt, so findet zwischen den beiden electrischen Fl
keiten eine wechselseitige Anziehung statt; da aber die hie
an den gegenüberliegenden Stellen beider Leiter vermehrt
trische Anhäufung nnd Spannung sich mit der wechsels
Anziehung ins Gleichgewicht setzen muss, so bleibt der
den Leitungswiderstand ausgeübte Druck das Maass des
gangsbestrebens beider Flüssigkeiten zu einander.

Bei einer geladenen Batterie hat man die Repulsivkraft des
electrischen Uebergewichtes auf der einen oder andern Belegu
unmittelbare Ursache des Ausgleichungsstroms zu betrachten.
aus folgt, dass die Entladung, mit so grosser Schnelligkeit s
mer vor sich gehen mag, nur eine successive seyn kann.
beginnenden Entladung vermindert sich die Spannung. Da
Schlagweite, d. h. die grösste Entfernung, zu welcher der
bei einer gegebenen Ladung überspringt, gleichwohl, wenig
für den grössten Theil der angesammelten Electricitätsmeng
verändert bleibt, erklärt sich aus den bekannten Erfahrungssä
dass die Luft durch den electrischen Funken ausgedehnt wird
dass die Schlagweite unter sonst gleichen Verhältnissen durch
dünnung der Luft sich vergrössert.

Für den successiven Abfluss der Electricität einer Batterie bei der Entl
hat Riess einen experimentellen Beweis gegeben. Zuerst zeigte er, da
Schlagweite, z. B. der Abstand zweier Kugeln, zwischen welchen der
überspringen musste, der Dichtigkeit der angesammelten Electricitäts
proportional, von der Beschaffenheit des Schliessungsbogens aber, voraus

s es ein Leiter sey, ganz unabhängig ist. Es war z. B. ohne Einfluss dar-
ler Bogen ununterbrochen metallisch war, oder ob man eine mit reinem
angefüllte Röhre eingeschlossen hatte. Gleichwohl fiel die Electricitäts-
welche durch die Entladung bei unveränderter Schlagweite zernichtet
n ersten Falle beträchtlich grösser aus, als in dem letzteren; d. h. es
letzteren Falle eine grössere Menge Electricität in der Flasche zurück.
n bedurfte folglich mehr Zeit, um durch das Wasser, als durch die ganz
he Leitung zu gehen. (Pogg. Ann. Bd. 53, S. 1.)
ehr zweckmässige Verfahren, welches Riess anwendete, die in einer
en Batterie sich anhäufende Electricität ihrer Menge nach zu messen,
ich auf den Satz: dass von der äusseren Belegung genau eben so viel
iges Fluidum fortgehen muss, als ungleichnamiges gebunden wird.
die äussere Belegung seiner Batterie auf eine gut isolirende Unterlage,

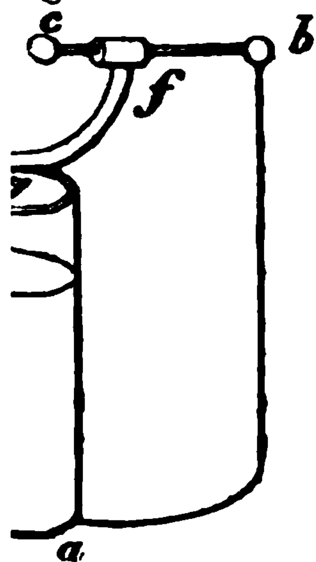


Fig. 132.

und verband sie mittelst einer dicken metallischen Leitung mit der innern Belegung einer Maassflasche, oder nach ihrem Erfinder sogenannten Lane'schen Flasche (d. h. mit einer Verstärkungsflasche, Fig. 132, deren beide Metall-Bekleidungen mittelst des Drahtes *a b* und des auf dem gebogenen Glasstabe *g f* ruhenden und in einer Hülse verschiebbaren Leiters *c b* zu beliebiger Nähe gebracht werden können, so dass schon bei mässiger electrischer Anhäufung die Entladung erfolgen muss). Die äussere Belegung der Maassflasche stand mit grösseren Metallmassen in ununterbrochenem metallischem Zusammenhange, während die Scheibe der Maschine gleichförmig gedreht und die erregte Electricität der inneren Bele-
r Batterie continuirlich, d. h. ohne Funken-Ueberschlag zugeführt
Die Quantität der angehäuften Electricität erhielt man aus der Anzahl
gen der Maassflasche.
Zahl, dividirt durch die Grösse der belegten Glasfläche, oder auch durch
hl gleich grosser Flaschen der Batterie, gab die Dichtigkeit der An-
(Pogg. Ann. Bd. 40, S. 321).

. Die Geschwindigkeit des Entladungsstroms der Batterie
z ausserordentlich gross und in der That nur mit derjenigen
ltes zu vergleichen. Nach Wheatstone durcheilt die Elec-
einen Kupferdraht mit der Geschwindigkeit von 288000
hen oder 62500 deutschen Meilen in der Sekunde. — Ueb-
herrscht selbst unter den besten Leitern eine grosse Ver-
nheit hinsichtlich der Zeit, welche sie bedürfen, um be-
Mengen Electricität durchzulassen. Um z. B. dieselbe
Electricität, welche durch einen Kupferdraht ging, in der-
Zeit durch einen Platin- oder Bleidraht zu führen, muss der-
ei gleicher Dicke viel kürzer oder bei gleicher Länge weit
seyn.
hst den Metallen gehören manche Schwefelverbindungen
yde, insbesondere Schwefelkies, Schwefelblei, Kupferkies,
ein, Eisenoxyd, Zinnstein; ferner die Kohle, namentlich in
rm als Graphit und Anthracit zu denjenigen Körpern, welche
tricität am wenigsten aufhalten.
Wasser leitet im Vergleich zu den Metallen so schlecht,
electrische Entladung den Weg durch Meilen lange Me-

alldrähte dem durch eine gleich dicke Wasserstre
wenigen Zollen vorzieht. Durch Zusatz von Salzen
kann man aber seine Leitfähigkeit sehr verbessern.

Schon Abbé Nollet, ein ausgezeichneter Physiker, der um
rigen Jahrhunderts lebte, hat beobachtet, dass der aus einer Lei
theilte Schlag von 180 Personen, die sich zu einer Kette verbu
gleichzeitig empfunden wurde, so wie auch, dass die Electri
grosse Reihe nicht ganz zusammenhängender Körper, so dass
von einem zum andern ein Funke entstehen muss (Blitztafel),
barer Zeittheilchen durcheilt. Um dieselbe Zeit fand man, da
strecken, feuchter Boden, Drahtlängen von 6 — 12,000 Fus
Strom auf keine durch die gewöhnlichen Hülfsmittel der Zei
bare Weise aufhielten.

Wirkliche Messungen über die Geschwindigkeit der Elect
nur von Wheatstone mit günstigem Erfolge ausgeführt wo
bung des sinnreichen Apparates, dessen er sich bediente,
Ann. Bd 34, S. 464. Er bewies, dass der Entladungsstrom e
genöthigt durch einen Kupferdraht von ½ engl. Meile Läng
an den Enden und in der Mitte durchschnitten war, von be
Flasche gleichzeitig eintrat, während der Uebergangsfunke
schnittes gegen die beiden andern etwas zurückblieb. Die
[illegible] einer Sekunde. Hiernach und unter Voraussetzung,
nander in der Mitte des Drahts begegneten, wurde die obe
digkeit berechnet. — Wheatstone fand ferner, dass
Electricität das Licht des überspringenden Funkens no
einer Sekunde verweilt. Wenn der Funke zwischen Unte
oder zwischen Spitzen übergeht, besitzt er eine grössere

Ungeachtet dieser geringen Dauer des electrischen
nicht nur fähig, dasselbe wahrzunehmen, sondern auch
beleuchtet werden, zu sehen und zu unterscheiden. Eine
deutlichen Empfindlichkeit des Auges ist: dass Bilder, die
mit möglichster Schnelligkeit gedreht werden, unter de
trischen Funkens still zu stehen scheinen und in ihrer
werden; schwingende Saiten scheinen in ihrer gebog
und eine Reihe von Tropfen, die dem Auge als ein unu
scheinen, stellen sich als eine Folge getrennter Tropf
aller dieser Bilder nur eine so kurze Zeit dauert, das
wegung sich befindenden Körper dabei nicht verände

Man hat oft versucht, die Leitfähigkeit der Metal
gleichen. Für die ungleiche Fähigkeit gleich langer
von verschiedenen Metallen, den Entladungsstrom
Riess (Pogg. Ann. Bd. 45, S. 20) folgende Zahlen,
anderer Physiker über das Vermögen der Metalle, ga
durchzulassen, zum Theil nahe übereinstimmen.

Silber	148,7
Kupfer	100,0
Gold	88,9
Cadmium	38,4
Messing	27,7
Palladium	18,2

Das Wasser, so gross an und für sich die Gesc
Electricität durchlässt, leitet doch Millionen mal s
erweist sich aus folgendem Versuche. In ein Wass
platten, jede von 100 Q. Zoll Fläche, in dem Abstan
über eingetaucht und die eine mit der äusseren, d
gung einer geladenen Leidner Flasche metallisch
dungsstrom zwischen beiden Platten durch das

ıtladung die Hände in das Wasser, zwischen den Kupferstreifen 'ärts. Ein grosser Theil des Schlags wird durch den Körper gehen. ›dann das Wasserbecken und gebrauche als Schliessungsbogen en Kupferdraht von 3 — 4 Fuss Länge und 0,1 Linie Durchmesın während der Entladung mit beiden Händen ergreift. Man wird doch nur eine geringe Empfindung der durchgehenden Electricität diesen Versuch noch belehrender zu machen, lasse man eine ectrischer Entladungen, so wie sie das Blitzrad, in Verbindung chen Säule gewährt, durch das Wasser gehen. Man tauche die dass sie beide gleich weit von den Metallstreifen abstehen, also ende Linie die Richtung des Stroms rechtwinklig durchkreuzt. ine Spur einer electrischen Einwirkung; so wie aber die Hände benen Lage verrückt werden, empfindet man die Schläge, um so sich die eine Hand dem einen Streifen, die andere dem andern itwärts wird die Einwirkung, wiewohl mit abnehmender Stärke, raus hervorgeht, dass der Strom sich rechts und links von den ısbreitet, folglich in der geraden Richtung nicht mit genügender ›rtgeführt werden kann. Diese Versuche beweisen zugleich, dass e Körper ein besserer Leiter ist als das Wasser. — Durch Zualz in das Wasser vermindert sich das Prickeln in den Fingern et bei grösserem Salzgehalte ganz. Die Leitfähigkeit des Wasdurch Aufnahme von Kochsalz vermehrt worden. Andere Salzverdünnte Säuren, zeigen ein ähnliches Verhalten.

Entladungsstrom der electrischen Säule, und überhaupt ischen Kette, unterscheidet sich hinsichtlich seiner ıffallend von dem der electrischen Batterie. Die Säule gleichsam wie eine Batterie, deren Ladungen in unnen Zeittheilen nach der Entladung sich immer wieder :r Strom muss daher fortdauern, so lange bis irgend indernisse sich mit seiner ganzen Triebkraft ins Gleichetzen vermögen. In der offenen und isolirten galvaniäussert sich die ganze bewegende Kraft derselben g freier Electricität. Gesetzt, der eine Pol, z. B. der ›mme mit der Erde in leitende Verbindung, so muss ;ative Electricität entweichen; die Dichtigkeit der po›ppelt sich aber, die Grösse der vorhandenen Triebfolglich relativ ungeändert. Der Grund, warum die e positive Electricität ungeachtet der ableitenden Verder Erde zurückgehalten wird, ist der der Repulsivheile gleiche Widerstand, welchen sie an den Uebern von einem Gliede der Kette zum andern erfährt. stand ist nichts Anderes als die erregende oder elec›Kraft. Die Triebkraft des galvanischen Stroms an Grösse genau gleich der Summe sämmtli- Kette wirksamer electromotorischer Kräfte, die electrische Differenz als Maass gelten

'ollkommen geschlossenen Kette würden die erregten durch den Schliessungsbogen ohne Aufenthalt zu ein›ten müssen. Die cirkulirenden Mengen müssten da›e der Erregungsfähigkeit an den Contaktstellen ent-

sprechen. Die Leitungswiderstände hindern diese freie Cirkul
und bewirken, dass die Mengen der zu einander übergehe
und sich wechselseitig aufhebenden Electricitäten weniger l
gen, als in derselben Zeit erregt werden könnte. Aus diesem Gi
zeigt sich auch in der geschlossenen Kette noch ableitbare,
gespannte Electricität, welche sich z. B. durch einen zw
Schliessungsbogen führen, oder auch auf dem Condensator au
meln lässt. Ihre grösste Anhäufung und Spannung wird imm
solchen Stellen gefunden, an welchen die grössten Widerst
zu überwinden sind.

Wird z. B. eine aus guten Leitern gebildete Säule an eine
liebigen Stelle durch einen schlecht leitenden Körper, etwa
reines Wasser, geschlossen, so behauptet die Electricität au
das Wasser begränzenden Metallflächen ihre grösste Dichti
und diese nimmt, ganz so wie in der offenen Kette, nach der
hin, von Glied zu Glied stufenweise ab. Man sieht hieraus,
alle Kettenglieder dazu beitragen, dem Widerstande an de
vollkommenen Schlussstelle das Gleichgewicht zu halten. Die
trische Spannung an den Polen der unvollständig geschloss
Kette ist jedoch immer geringer als an denselben Puncten der
nen Kette, woraus man folgern muss, dass ein Theil der Triebk
welche jedes einzelne Glied bieten konnte, verwendet we
musste, um die Widerstände in seinen eigenem Umfange au
gleichen.

Die besten Leiter unter den Flüssigkeiten stehen doch de
tallischen Leitern bei weitem nach. Es ist daher vorauszus
was die Erfahrung bestätigt, dass der verfügbare Theil der
eines jeden aus Metallen und Flüssigkeiten zusammenges
Electromotors um so grösser seyn wird, je grösser der Quer
des flüssigen Leiters ist und je mehr Uebergangspuncte vo
tall zu Flüssigkeit vorhanden sind.

366. Der electrische Strom besitzt die merkwürdige Eigens
den Körpern, welche er durchläuft, eine magnetische Kraft zu
theilen, die erst mit dem Aufhören des Stroms wieder verschwi

Man findet, dass leichtbewegliche Magnetnadeln, an deren
ster Axe der Schliessungsdraht einer kräftigen galvanischen K
vorübergeht, aus ihrer Ruhelage abgelenkt werden und erst n
Unterbrechung des Stroms in dieselbe zurückkehren. Die Richt
dieser Ablenkung ist verschieden, je nach der Lage der Sch
gungsebene der Nadel gegen die Richtung des Stroms. Sie l
durch folgende bildliche Vorstellung sogleich mit Leichtigkeit
ausgesehen werden: „Der Beobachter denke sich in die Rich
des Stroms versetzt, den Kopf vorwärts, die Füsse zurück
Auge gegen die Magnetnadel gerichtet, so wird der positiv
der Nadel aus seiner Ruhelage stets links abweichen."

Man hänge z. B. zwei gleiche Magnetnadeln, etwa in l

Abstand, über einander, und lasse zwischen beiden, gleichlaufend mit ihrer magnetischen Axe, einen dicken Kupferdraht durchgehen, der als Schliessungsbogen eines galvanischen Paares von ziemlich grossem Flächeninhalte der Platten dient. Bewegt sich nun der Strom in der Richtung von Süden nach Norden, so weicht der positive Pol der unteren Nadel westlich, der der oberen östlich ab; das Umgekehrte findet statt, wenn der Strom von Norden nach Süden geht. Eine horizontal stehende Nadel, die in der Ebne des magnetischen Meridians schwingt, dem Drahte von der Westseite genähert, hebt ihren positiven Pol, von der Ostseite genähert, senkt sie denselben.

In einem einzigen Falle, wenn nämlich die Richtung des Stroms diejenige der magnetischen Axe der Nadel rechtwinklig durchkreuzt, findet gar keine Ablenkung statt, wohl aber, je nachdem der von Westen nach Osten fliessende Strom über oder unter der Nadel hergeht, eine Beschleunigung oder Verzögerung ihrer Oscillations-Geschwindigkeit.

Astatische Nadeln, neben deren Axe der Strom hinläuft, stellen sich immer rechtwinklig auf die Richtung desselben.

Aus diesem Verhalten der magnetischen Kraft des Schliessungsbogens lässt sich die Folgerung ziehen, dass die Richtung ihrer Wirksamkeit den electrischen Strom in jedem beliebigen, winkelrecht durch seine Richtung geführten Querschnitte umkreist.

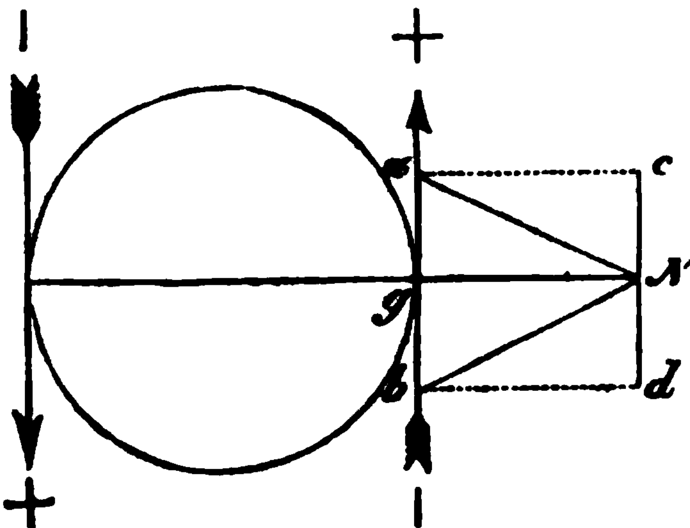
Man hat beobachtet, dass die Einwirkung auf einen Pol der Nadel, rings um den Strom herum, in gleichen Abständen von der Mitte desselben überall gleich gross ist, und dass sie im einfachen umgekehrten Verhältnisse, der Entfernung des Pols von der Mitte des Stroms, sich vermindert.

Man denke sich den Querschnitt *abca* (Fig. 133) eines Leiters von einer

Anzahl sehr kleiner, immer mit ihren ungleichnamigen Polen an e
heter Magnete umgürtet, deren Abstände jedoch so gross sind,
kungskreise der aufeinanderfolgenden ungleichnamigen Pole nic
ander fallen können, so müssen sich diese kleinen Magnete winke
beliebige, durch die Mitte des Leiters gezogene gerade Linie x g
neten von bedeutend vergrösserter Atmosphärenwirkung (291)
gesetzter Lage zusammensetzen.

Befindet sich nun in der Ebne des Querschnittes der Pol N (
andern Magnetes, z. B. der pc
Nadel, so wird derselbe in d
a nach N abgestossen, in d
b nach N eben so stark an
Wirkungen, da sie einen
können sich jedoch nicht
sondern ergänzen sich zu
wodurch der Pol gleichlauf
gente des Punctes g beweg

Fig. 134.



Diese Darstellung ist wo
Wirkungsweise der magnet
Stroms durch ein Bild zu ve
aber nicht als eine Erklärun
den eigentlichen Zusamme
wegten Electricität mit de
Kraft, welche sie äussert, oder in den Leitern erzeugt, weiss man

Bemerkenswerth ist es übrigens, dass der Schliessungsdrah
bar an seiner Oberfläche freie magnetische Kräfte zeigt, ganz
müsste, wenn jeder Querschnitt desselben von kleinen Magneten
denn der Draht zwischen Eisenfeilspänen durchgeführt, umwick
sam mit denselben, und eine Nähnadel mehrmals quer über den D
erhält Spuren von bleibendem Magnetismus.

Die magnetische Kraft des electrischen Stroms oder der E
netismus ist im Jahr 1820 von Oerstedt in Kopenhagen e
Gewisse Einwirkungen der Electricität auf die Magnetnadel war
zelnen Fällen schon früher bemerkt worden; aber Niemand hat
so bestimmten Zusammenhang zwischen den electrischen un
Kräften erkannt. Die Oerstedt'sche Entdeckung erregte daher im
die Aufmerksamkeit und das Interesse der Physiker und wurde
punct einer grossen Reihe der merkwürdigsten Entdeckungen
Electricitätslehre und des Magnetismus.

367. Ein Leiter der Electricität, durch welchen de
wird nicht nur seiner ganzen Länge nach magneti
äussert auch diese Kraft in jedem Querschnitte mit gle
Denn biegt man den Schliessungsdraht einer galvan
um, so dass der zurückgehende Arm mit dem vorwi
ganz gleichlaufend ist, und beide nur durch einen F
getrennt sind, so zeigt er sich auf die genäherte Mag
kungslos, weil die magnetischen Kräfte in beiden
Drahtes ihrer Richtung nach entgegengesetzt sind u
lich aufheben müssen.

Dieses Verhalten ändert sich nicht, wenn der S
bogen aus verschiedenartigen Leitern zusammenges
die magnetische Kraft des Stroms ist gänzlich unabhä
Natur des Stoffes, welchen er durchdringt.

Diese vorläufigen Mittheilungen über die magnetische Wirksamkeit der Electricität im Zustande der Bewegung werden genügen, um eine höchst wichtige Anwendung zu verstehen, die man davon gemacht hat, einestheils um die Anwesenheit electrischer Ströme sogleich mit Sicherheit zu erkennen, anderntheils um ihre Stärke zu messen. Alle zu diesem Zweck ersonnenen Geräthschaften führen den gemeinschaftlichen Namen: Galvanometer.

Electromagnetische Messwerkzeuge; Galvanometer.

368. Der Multiplicator. Ein electrischer Strom, der in gerader Linie an einer Magnetnadel vorbeiläuft, wird auf diese in der Regel keine sehr starke Wirkung ausüben, weil nur wenige Elemente desselben, nur wenige Stromelemente, in genügende Nähe den Polen der Nadel gelangen können. Die magnetische Wirksamkeit des Stroms lässt sich aber bedeutend verstärken, wenn man den Leitungsdraht um die Nadel, und zwar parallel mit der Ebene ihres Meridians in mehreren Windungen herumbiegt. Es ist einleuchtend (366), dass alle in einer Windung gleichzeitig befindlichen Stromelemente auf einen innerhalb des Ringes befindlichen Magnetpol in gleichem Sinne wirken und dass sie sich folglich zu einer verstärkten Kraft zusammensetzen müssen, wodurch der Pol senkrecht gegen die Ebne des Ringes bewegt wird. Da ferner eine jede Windung für sich betrachtet und in genau gleiche Lage zu der Nadel gebracht, eine gleiche Wirkung auf dieselbe äussern muss, so sieht man ein, dass die ablenkende Kraft eines Stroms, dessen Stärke an und für sich unverändert bleibt, gleichwohl zunimmt mit der Anzahl der Drahtwindungen, welche er durchlaufen muss. Eine derartige Vorrichtung hat daher den Namen: electromagnetischer Multiplicator erhalten. Die Grösse der ablenkenden Kraft ist übrigens nicht genau ein Vielfaches der Anzahl der Windungen; weil sich nicht alle in gleichem Abstande von der Nadel befinden können.

Der Multiplicator ist gleichzeitig von Poggendorff und Schweigger erfunden worden.

Der (möglichst eisenfreie) Kupferdraht, welcher zu den Windungen verwendet werden soll, wird gewöhnlich mit Seide umsponnen, um die circulirende Electricität zu verhindern, seitwärts von einer zur andern der neben einander liegenden Windungen überzutreten. Nur die beiden Enden sind frei; sie tauchen entweder, jedes in ein besonderes Quecksilbernäpfchen, wo sie den Strom aufnehmen, oder werden direkt mit den Polen des electromotorischen Apparats verbunden. Den Windungen pflegt man die Gestalt eines länglichen Rechteckes zu geben, dessen Länge und Höhe eben die erforderlichen Dimensionen besitzen, um den Bewegungen der Nadel einen hinreichenden Spielraum zu lassen. Es gelingt auf diese Weise den Strom der Nadel sehr nahe zu bringen und dadurch die Empfindlichkeit bedeutend zu steigern.

Fig. 135.

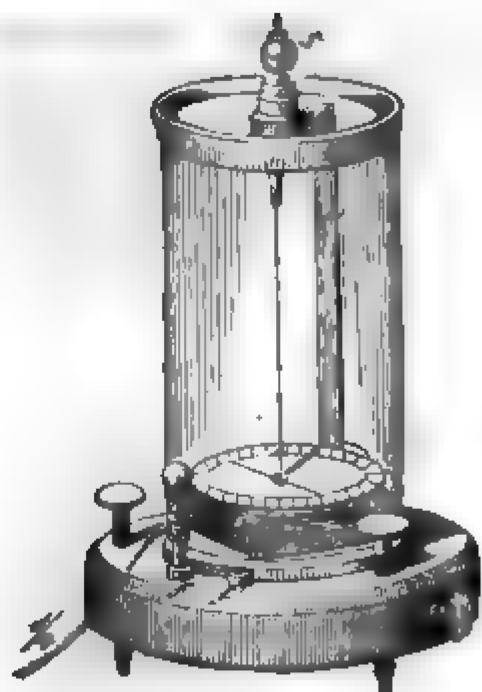


Fig. 136.



Die Figur 135 zeigt einen nach se
mässigen Verhältnissen ausgeführte
cator, in ¼ der natürlichen Grösse.

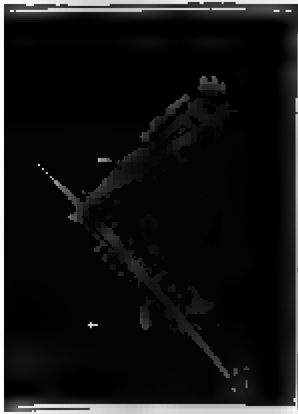
Eine magnetisirte Stahlnadel,
lang, schwingt in der Mitte eines v
Rahmens von Messing, von 16 Lin
23 Linien Länge und 3 Linien Höhe
um dessen stark gefirnisste Kanten
in möglichst gleichlaufenden Windu
oder nach Erforderniss auch in me
gen über einander gewickelt ist. I
des Rahmens ist zwischen den Wind
Lücke gelassen, gerade von genüge
um die Nadel einlassen zu können
tere ist, so wie Figur 136 andeutet,
gleichlaufenden Zeiger verbunden
den Windungen schwebt, und häng
einzigen 3, 5 Zoll langen Coconfaden
erhöhten Rande des Rahmens ruh
weissem, lackirtem Papier überzoge
scheibe, worauf sich die Kreistheil
det. Diese Scheibe wird auf dem Ra
schen Nadel und Zeiger eingeschoben
dem Ende an der dem Nullpuncte gegenü
den Seite, mit einem vom Rande bis zur
chenden Einschnitte versehen.

Um das Instrument vor Staub zu schü
eine Glasglocke darüber gedeckt, aus w
der Schraubenkopf *s* hervorragt, mittelst
Aufhängepunct des Fadens etwas gehobe
senkt, oder auch, während des Transport
del ganz in Ruhe gesetzt werden kann.

Während des Gebrauchs ruht der M
auf einem festen, von irgend Erschütter
Fussbodens unabhängigen und daher am
eine Mauer eingelassenen Träger. Die
werden der magnetischen Axe der Nad
gerichtet; eine Stellung, die allemal e
wenn der Zeiger auf den Nullpunct de
einspielt. Um dem Zeiger diese Stellung
mit Schärfe geben zu können, ohne das ga
horizontal gerichtete Instrument öfters v
rücken zu müssen, hat man die Unterlage des Rahmens, worauf au
Träger der Nadel und die Glasglocke sitzt, beweglich gemacht, in de
sie vermittelst eines Getriebes um eine feste, verticalstehende Ax
werden kann. Die Enden des Multiplicatordrahtes sind an den beiden
f und *f'* angelöthet; in letztere werden entsprechende, mit den Polen d
motors verbundene Stifte eingeschoben, so oft das Instrument in
gesetzt werden soll.

Nobili, ein italienischer Physiker, hat die Empfindlicl
Multiplicators, als eines Anzeigers electrischer Ströme dad
deutend erhöht, dass er zwei gleich grosse und möglich
starke Magnetnadeln mit entgegengesetzt gerichteten Pe
band. Die eine befindet sich zwischen den Windungen, di
darüber, so dass der Strom auf beide in gleichem Sinne (3
ken muss. Die obere dient zugleich als Zeiger. Es ist klar, d

Fig. 137.



solche Doppelnadel unter dem Einfluss des Erdmagnetismus allein, eine um so geringere Richtkraft besitzt, je geringer die Differenz der magnetischen Kräfte beider Nadeln und je genauer gleichlaufend ihre Axen gestellt sind. Wenn sie sich, so wie es meistens geschieht, in einem spitzen Winkel durchkreuzen, so nehmen sie, sobald sie ungefähr gleich stark magnetisirt sind, eine Stellung nahezu winkelrecht gegen den magnetischen Meridian (siehe Fig. 137).

n der Nadel den äussersten Grad der Empfindlichkeit zu geben, ein kräftiger Magnetstab in wagerechter Lage und in der Ebne eridians, aber mit verkehrten Polen, in passender Entfernung stellt. Die erdmagnetische Richtkraft kann auf diese Weise em noch so kleinen Werthe zurückgeführt werden.

n ist durch diese Hülfsmittel in den Stand gesetzt, die geringpuren electrischer Ströme, aus welcher Quelle dieselben auch ingen mögen, zu entdecken.

ist einzusehen, dass die Grösse der Ablenkung einer Multiornadel, ein gewisses Urtheil gestattet über die Stärke der n Windungen thätigen magnetischen Kraft. Zu wirklichen ungen dieser Stärke ist jedoch der Multiplicator unmittelbar geeignet, weil die Grösse des Ablenkungsbogens in keiner ches und durch theoretische Betrachtungen leicht im Voraus stimmenden Beziehung zur Grösse der ablenkenden Kraft steht. Beziehung kann aber, wie in der Folge gezeigt werden soll, isch bestimmt und dadurch der Multiplicator in ein wirkliches verkzeug verwandelt werden.

l man die Empfindlichkeit dieses Instrumentes durch einen Versuch prüfen, inde man das eine Drahtende mit einem Kupferstreifen, lege auf diesen ck mit Wasser befeuchtetes Löschpapier, und berühre die obere Fläche steren mit dem abgestumpften Ende eines Stiftes von Zink, von 1—2 Licke, welcher am andern Ende des Multiplicatordrahtes befestigt ist. Die wird sich sogleich in Bewegung setzen und nach der Richtung derselben Strom anzeigen, der von dem Zink durch das Papier zum Kupfer geht. die erdmagnetische Richtkraft der Doppelnadel möglichst gering, der icatordraht aber recht lang ist, so dass er viele, etwa 500 oder mehr ngen bildet, so muss der Ablenkungsbogen 40—50 Grade und selbst mehr en. Ein Urtheil über den Grad der Vollkommenheit des astatischen Syler Doppelnadel erhält man auch aus der Langsamkeit ihrer Schwingungen. man im Besitze eines Multiplicators von dem bezeichneten Grade der flichkeit, so lässt sich damit sehr leicht zeigen, dass ein Strom gemeiner laschinen-Electricität, gleich der galvanischen, die Eigenschaft besitzt, ttungsdrahte magnetische Kräfte zu verleihen. Man verbinde das eine nde des Multiplicators mit dem positiven, das andere mit dem negativen ctor einer Reibungs-Electrisirmaschine und setze sodann ihren Glaskörr eine rasche und gleichförmig anhaltende Bewegung. Es wird eine Ab g erfolgen und zwar im Sinne eines Stroms, der vom positiven Conductor len Draht zum negativen geht. Der Winkel, welchen die Nadel beschreibt,

wird jedoch, selbst wenn man eine kräftige Maschine, im besten Gange fügung hatte, der in dem vorhergehenden Versuche erhaltenen Ablen weitem nicht gleichkommen Man erkennt hieraus, dass die Maschine cität ungeachtet der hohen Spannung, welche sie im Ruhezustand a kann, unfähig ist, während ihres Uebergangs von einem Conductor zu starke magnetische Wirkungen auszuüben. Wir werden in der Folg dass diess nicht von einer specifischen Verschiedenheit, sondern nur dal weil die durch den Reibungsprocess in jedem Augenblicke entwickelt freier Electricität, vergleichungsweise zu der in derselben Zeit in eine nischen Kette erregten, sehr gering ist.

Auch die Luftelectricität im Bewegungszustande wirkt auf die Mag Wird der in No. 336 beschriebene, für die Aufsaugung der Luftelectri stimmte Leiter mit dem einen Ende des Multiplicatordrahtes, die Abl stange mit dem andern Ende in Verbindung gesetzt, so weicht die N ihrer Ruhelage ab, so oft eine Gewitterwolke vorüberzieht, mehr oder je nach der Stärke der electrischen Anhäufung und bald im positiven, negativen Sinne. (Pogg. Ann. 8. 336; 29. 283.)

369. Die Sinusbussole. Jede Magnetnadel, durch welche Ursache aus ihrem Meridi rückt, wird durch den Erdmagnetism einer Kraft zurückgerufen, die dem des Ablenkungswinkels proportion Es sey *NS* die Richtung des Me oder der Ruhelage der Nadel, *ab* ih änderte Stellung, α der Ablenkun kel, *ag* die Grösse der erdmagne Kraft, so ist der Theil davon, durc chen die Nadel zurückgeführt werde $ac = ag \sin \alpha$.

Fig. 138.



Die magnetische Kraft eines schen Stroms, welcher den Multip draht durchläuft, wirkt auf die Pole einer Magnetnadel, Innern seiner Windungen aufgehängt ist, in einer Richtun kelrecht gegen die Ebne der Windungen. Die abstossend erreicht folglich ihren grössten Werth, wenn die magnetisc der Nadel selbst in dieser Ebne liegt, oder doch gleichlaufen gestellt ist. Die Stärke der Abstossung vermindert sich s grösser der Winkel geworden ist, welchen die Nadel mit de dungen bildet. Liessen sich die letztern bei jeder Lage, in die Nadel übergeht, mit deren magnetischer Axe parallel stel wie es bei dem gewöhnlichen Multiplicator nur während de lage der Fall ist, so würde die ablenkende Kraft für eine u selbe Stromstärke nicht nur fortdauernd ihren grössten, s auch einen unveränderlichen Werth behaupten. Diese Bedi kann erreicht werden, wenn der Rahmen des Multiplicato um den Mittelpunct des Theilkreises drehbar und dadurch di lichkeit gegeben ist, den gestörten Parallelismus immer herzustellen. Die Nadel kann in diesem Falle nicht eher zu kommen, als bis die richtende Kraft des Erdmagnetismus s

stossenden Kraft des Stroms ins Gleichgewicht ge-
einem so eingerichteten Multiplicator gibt also der
.blenkungswinkels ein relatives Maass für
sche Kraft des Stroms. Daher der Name Sinus-
:hen Pouillet, der Erfinder dieses Instrumentes, dem-
n hat.

·her beschriebenen Multiplicator in eine Sinusbussole
ı, bedarf es nur eines unmittelbar über der Theilung
ıverrückbaren Punctes, der während der Drehung
und Theilkreises seine ursprüngliche Stellung be-
adurch jeden Augenblick erkennen lässt, um wie
ndungen und Nadel aus dem magnetischen Meridian
en sind. Fehlt ein solcher fester Punct an dem In-
kann die Grösse des Ablenkungswinkels dadurch
den, dass man, nachdem Windungen und Nadel zu-
Nullpunct der Scale eingestellt sind, den Strom unter-
Nadel in die frühere Ruhelage, d. h. in diejenige
welcher aus die Drehung begonnen hatte, zurück-

: kann jeder Multiplicator als Sinusbussole gebraucht
l man denselben auf eine horizontale um vertikale
Scheibe, z. B. auf den horizontalen Theilkreis eines
llt. Dabei ist es gar nicht erforderlich, dass die Dreh-
mit der der Scheibe zusammenfalle. Eben so wenig
ɜ genauen Parallelismus der magnetischen Axe der
Ebne der Windungen oder dieser Windungen unter-
'ern nur ihre wechselseitigen Beziehungen, so oft
en Nullpunct einspielt, jedesmal genau dieselben sind.
mung des Ablenkungsbogens einer Multiplicator-Nadel nach
' Sinusbussole immer einige Zeit erfordert, so können damit
ıe nur Ströme von unveränderlicher Stärke gemessen werden.
Sinusbussole lassen sich aber sehr leicht mit den bei unver-
der Draht-Windungen erhaltenen Ausschlägen der Nadel ver-
lurch wird es möglich, auch Ströme von kürzerer Dauer zu
el stellte sich z. B. bei unveränderter Lage der Windungen,
ınn bei 21°, in einem dritten Versuche bei 31°. Als Sinusbussole
ter dem Einflusse derselben electrischen Ströme erhielt man
ıgen 10°3', 23°55' und 43°37'; die magnetischen Kräfte, welche
'on 10°, 21° und 31° bewirkten, verhalten sich also wie sin.
·': sin. 43° 37'.
ise kann man für jede unmittelbare Ablenkung der Nadel die
·omkraft bestimmen, und eine hiernach entworfne Tabelle (in
he für jeden einzelnen Grad mit Hülfe einer nach den Ergeb-
:htung gebildeten Curve oder durch Interpolation eingetragen
n der Folge, um die Stärke electrischer Ströme aus den di-
les Multiplicators abzuleiten.
ı hieraus ein eben so einfaches als sicheres Mittel, jeden Mul-
.duiren, d. h seine Anzeigen untereinander vergleichbar zu
m Multiplicator mit astatischer oder Doppelnadel gilt jedoch
ɪrkeit nur mit der Einschränkung, dass für alle Versuche,

deren Ergebnisse aufeinander bezogen werden sollen, die Richtkraft tischen Systems unverändert geblieben ist, oder mit andern Worten electrischer Strom von bekannter Stärke, bei Beendigung der Vers selben Ausschlag wie anfangs bewirkte. Zuweilen wird man finden, nicht der Fall ist, d. h. dass die magnetische Intensität der Dopp Laufe der Versuche sich geändert hat, besonders wenn sie dem Einf starken Stroms ausgesetzt war.

Mit einer gegebenen Sinusbussole lassen sich direct nu Ströme messen, deren magnetische Wirksamkeit geringe die magnetische Richtkraft der Nadel, deren Werth (siehe durch *eg* sin 90° ausgedrückt ist. Sinusbussolen bedürf je nach der Beschaffenheit der Ströme, zu deren Untersuc dienen sollen, einer verschiedenen Einrichtung. Für sel Ströme genügt schon eine einzige um die Nadel laufende eines dicken Drahtes oder Kupferstreifens.

370. **Die Tangentenbussole.** Wenn der electrisch durch den Querschnitt eines kreisförmig gebogne (Fig. 139) geht und wenn der M worauf er einwirkt, sich in der Mitte ses befindet, so vereinigt sich die mag Wirksamkeit sämmtlicher Elemente Rings zu einer bewegenden Kraft, welc recht gegen die Ebne desselben geri deren Grösse der Summe aller gleichz Ring begränzender Stromtheile propor

Fig. 139.



Gesetzt im Kreismittelpuncte sei e netnadel aufgehängt, von so geringer nung, dass die Resultante der magn Kräfte des Rings bei den verschiede lungen der um den Mittelpunct schwi Nadel keine merkliche Aenderung erleidet. Man gebe der Rings eine solche Stellung, dass sie mit der des magn Meridians zusammenfällt, dass also die magnetische Axe nen Nadel während ihrer gewöhnli helage ganz in diese Ebne zu liege Die Linie *NS* (Fig. 140) bezeichn Lage. Gleichlaufend damit wirkt magnetische Kraft, senkrecht dag Kraft eines durch den Ring fli Stroms. Angenommen die Nadel, d sen Strom abgelenkt, bilde nunmehr Meridian den Winkel φ. Ist sie in de änderten Stellung zur Ruhe gekom muss die ablenkende Kraft des St der zurückführenden des Erdmagn im Gleichgewicht stehen. Erstere durch die Linie *ef*, und der Theil da

Fig. 140.



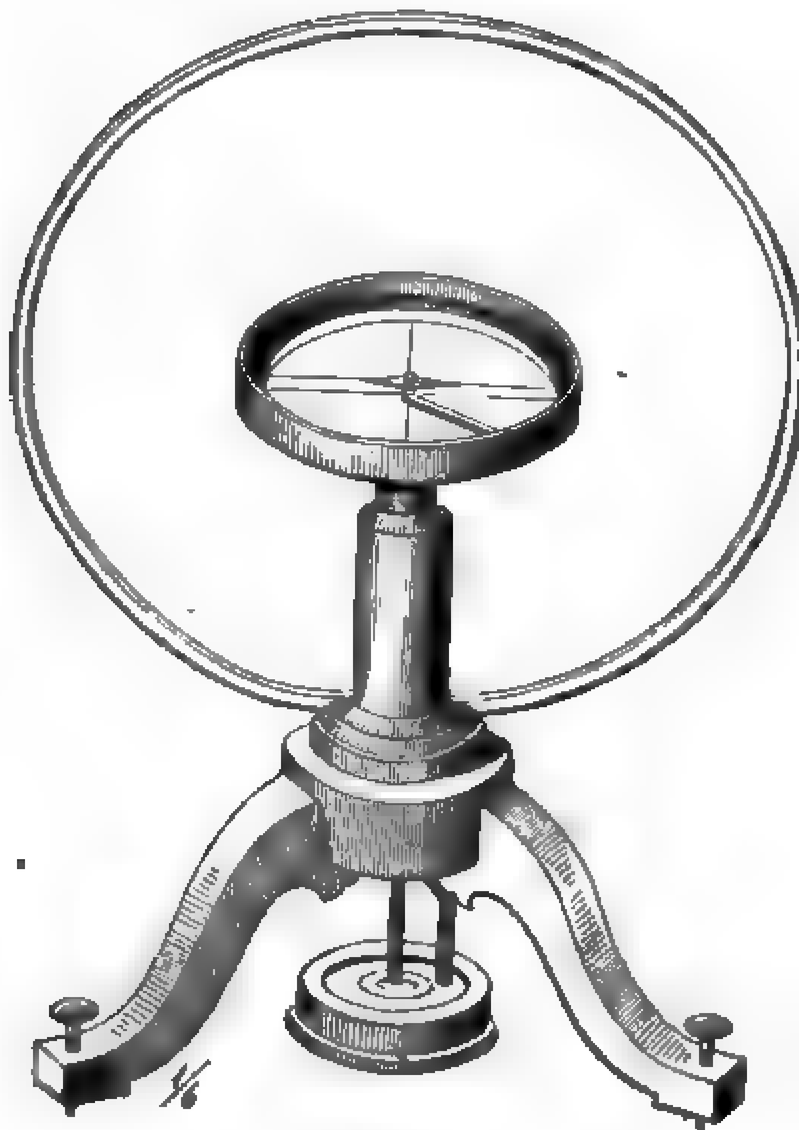
ıer die Nadel abzulenken strebt, durch *sb* ausgedrückt, letztere die erdmagnetische Kraft) durch *sg* und ihre die Nadel richtende eitenkraft durch $sa = sb$. Es ist $sa = sg \sin \varphi$ und $sb = fs \cos \varphi$.

olglich $fs = sg \dfrac{\sin \varphi}{\cos \varphi} = sg \operatorname{tng} \varphi$.

Für einen andern Ablenkungswinkel φ' würde man eben so finen $f's = sg \operatorname{tng} \varphi'$ u. s. f. D. h. die Tangente des Ablenungswinkels gibt ein relatives Maass für die Stärke es Stroms.

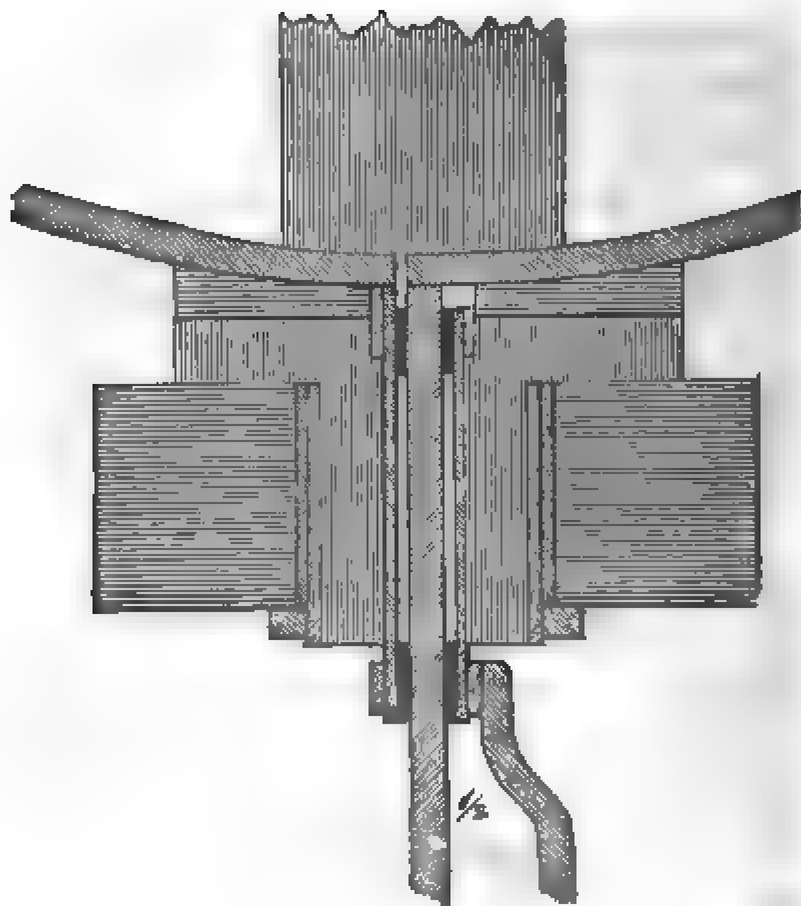
Die Tangentenbussole, zugleich mit der Sinusbussole von 'ouillet empfohlen ist eine Anwendung dieses Lehrsatzes. Die 'ig. 141 zeigt ein solches Instrument in $\frac{1}{6}$ der natürlichen Grösse.

Fig. 141.



Man leitet den galvanischen Strom durch einen grossen und starken kupfer-Ring in der Ebne des magnetischen Meridians. Die Zuleitung geschieht durch n langen dicken kupfernen Stiel, die Ableitung durch eine kupferne Röhre ehe die Durchschnittszeichnung Fig. 142), welche den Stiel umgibt ohne ihn berühren. Beide, das zuleitende und ableitende Ende tauchen in Quecksilberpfe, möglichst weit unterhalb des Reifes so aufgestellt, dass sich derselbe eine verticale durch seinen Mittelpunct gehende Axe frei drehen lässt. Die

Fig. 142.



Spitze, auf welcher die Magnetnadel ruht, ist entweder der Mittelpunct selbst, oder befindet sich doch nahe dabei in der Axe des Rings. Die Länge dieser Nadel darf ⅙ vom Kreisdurchmesser nicht übersteigen. Damit sich die Ablenkungsbögen dennoch mit genügender Schärfe beobachten lassen, pflegt man auf der Nadel einen Glasfaden von drei- bis vierfacher Länge zu befestigen, deren Enden unmittelbar vor der Kreistheilung vorübergehen. Ein Spiegelstreifen, der unter dem Theilkreise auf der wagerechten Bodenfläche der Kapsel aufliegt, sichert während des Ablesens die richtige Stellung des Auges.

Die beschriebene Tangentenbussole ist vorzugsweise für das Messen starker electrischer Ströme berechnet. Der Querschnitt des kreisförmigen Leiters muss desshalb so gewählt werden, dass er der bewegten Electricität keinen merklichen Widerstand entgegensetzen kann. Bei dem Instrumente Fig. 141 beträgt die Breite des Reifs 5^{mm}, die Dicke $7{,}5^{mm}$ auf einen mittleren Durchmesser von 401,3 Millimeter. Die beiden Drähte, welche die Verbindung mit dem Electromotor vermitteln, erhalten am besten einen eben so grossen Querschnitt; sie sind mit Seidenband umwickelt und werden auf 1 Metre Länge dicht nebeneinander fortgeführt, damit ihre Wirkungen auf die Nadel sich wechselseitig aufheben. Die übrigen Theile der electrischen Kette dürfen in keinem geringeren als in 1 Metre Abstande von dem Ringe aufgestellt werden.

Die Tangentenbussole hat vor der Sinusbussole den Vorzug, dass sie eine Bestimmung der Stromstärke unmittelbar aus dem Ablenkungsbogen der Nadel, also für jeden Augenblick der Beobachtung gestattet. Da jedoch die Bedingung einer Nadel, deren Pole von allen Puncten des Reifes gleichweit abstehen, nur annähernd erreichbar ist, so erscheint die Berechnung der Stromstärken nach dem Sinus des Drehungsbogens wenigstens im Principe genauer. Das vorher beschriebene Instrument lässt sich übrigens

ehr leicht auch als Sinusbussole benutzen, da der Ring, wie er-
·ähnt wurde, um eine vertikale Axe drehbar ist. Hatte man sich
ın bei der Anfertigung desselben an die oben vorgeschriebenen
imensionen gehalten, und benutzt man es dann zur Messung von
:römen von unveränderlicher Stärke, einmal nach dem Principe
ɜr Tangentenbussole, dann nach dem der Sinusbussole, so ergibt
ch, dass die nach beiden Methoden erhaltenen Resultate bis zu
) Grad Ablenkung und selbst darüber fast genau proportional sind.
ir stärkere Ströme zeigt sich eine allmählige Abnahme der nach
ɜn Tangenten berechneten Werthe; der hieraus entspringende
ehler übersteigt jedoch niemals einen halben Grad. Man kennt
is jetzt keine electrischen Ströme von sehr bedeutender Stärke,
eren Veränderlichkeit während einer gewissen Dauer zwischen
ngeren Gränzen eingeschlossen ist.

Einige Aufmerksamkeit erfordert die richtige Einstellung des
Zeigers auf den Nullpunct der Theilung. Fehlerhafte Resultate, die
us einer unrichtigen Einstellung entspringen könnten, werden
ndessen leicht umgangen, wenn man den zu messenden Strom
bwechselnd links und rechts in den Ring eintreten lässt und aus
en beobachteten Ablenkungen das Mittel nimmt.

371. **Das Magnetometer.** Wir müssen jetzt noch ein anderes
galvanometrisches Werkzeug kennen lernen, welches, was die
Schärfe der Messungen die es zulässt anbelangt, alle andern der-
artigen Geräthschaften weit übertrifft. Das Magnetometer, so
genannt weil es von Gauss ursprünglich zu magnetischen Mes-
sungen bestimmt war, lies sich durch Umgebung mit einem Mul-
tiplicatordrahte sehr leicht in ein Galvanometer verwandeln.

Die Fig. 143 (Pl. IV. 1) zeigt den Längendurchschnitt dieses In-
strumentes in $\frac{1}{5}$ der natürlichen Grösse; Fig 144 (Pl. IV. 2) einen
Querschnitt nach der Linie M N. *ab* ist ein prismatischer Magnetstab,
1 Decimeter lang und ungefähr 3 Pfund schwer. Er ruht auf zwei
Querstäben von Messing, die mittelst 4 Schrauben an einem be-
weglichen Rahmen von demselben Metalle befestigt sind. Der obere
Theil dieses Rahmens, zugleich mit dem Aufhängesystem ist in
Fig. 145 (Pl. IV. 3) in halber natürlicher Grösse gezeichnet. Die Auf-
hängung geschieht an einem sehr dünnen Eisendrahte (2 Metre
davon wiegen 0,553 grm.) von solcher Länge, als es eben die
Höhe des Zimmers erlaubt. Unmittelbar über dem oberen Querstücke
des Rahmens befinden sich zwei kreisrunde Scheiben von gleichem
Durchmesser, von welchen die untere auf dem Rahmen fest sitzt
und in Grade getheilt ist (Torsionskreis). An der oberen, die um
ihren Mittelpunct drehbar ist, befindet sich nur ein einziger Strich.
Diese Scheiben dienen um eine etwa vorhandene Torsion des Drah-
tes für die Ruhelage der Magnetnadel aufheben, so wie auch bei
sehr feinen Messungen, nach vorhergegangenen Versuchen über
die Grösse des Torsionswiderstandes, diesen Einfluss selbst mit in

Rechnung nehmen zu können. Zwischen den Rahmstäben eingeschoben, befindet sich ein Planspiegel S, um eine vertikale und eine horizontale Axe drehbar, dessen Halter an den Stäben auf und nieder beweglich ist, und an der passenden Stelle durch Reibung festgehalten wird. Der Magnetstab schwingt innerhalb eines hölzernen Kastens, in dessen Deckplatte sich zwei kleine Oeffnungen befinden, durch welche die Rahmstäbe gehen. Auf beiden Seiten ist er der Nadel entlang durch Glasscheiben geschlossen. Um den Magnetstab herum läuft ein dicker Kupferring rr, der wie in der Folge erklärt werden wird, den Zweck hat, die Schwingungen der Nadel zu mässigen, und aus diesem Grunde der Dämpf... genannt wird. Von demselben nur durch ein dünnes Brettchen getrennt, befindet sich der Multiplicatordraht (von 0,9 mmtre D... 275 Umwindungen in 8 Lagen übereinander) *).

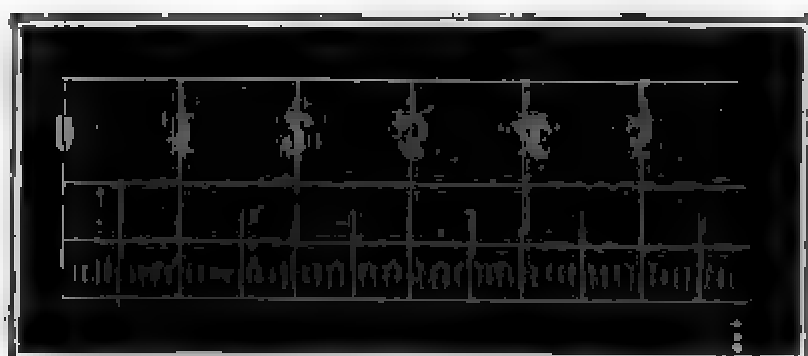
Dem Spiegel gegenüber ist ein Theodolith (siehe Fig. 14... einer wo möglich gemauerten und von dem ... Fussboden getrennten Unterlage, in ungefähr ... ter, oder wenn es angeht auch weiteren Entfer... aufgestellt. Die optische Axe des Fernrohrs ... Theodolith ist etwas höher als die Nadel und ... einer Verticalebne, die mit der Ebne des magn... schen Meridians einen beliebigen Winkel bi... kann, so abwärts geneigt, dass sie gegen die ... des in der Drehaxe des Magnetstabs angebrac... Spiegels gerichtet ist. An dem Stativ des The... lithen ist eine vier Fuss lange, in einzelne Milli... ter getheilte horizontale Scale befestigt, welche ... durch die optische Axe des Fernrohrs, den Auf... gedraht der Nadel und die Mitte des Spiegels ... hende Vertikalebne winkelrecht durchschneidet. ... Durchschnittspunct, welcher Mittelpunct der S... heissen mag, wird durch einen von der Mitte ... Objectivs herabhängenden sehr feinen und ... einem Gewichte beschwerten Faden be... die Scale steht in einer solchen Höhe, dass das ... eines Theils derselben im Spiegel durch das F... rohr erscheint, dessen Ocular zum deutlichen S... auf die Entfernung dieses Bildes gestellt ist. ... Fig. 147 gibt eine Probe der Scale; die Zahlen sind darauf ver... aufgetragen, damit sie im Spiegel gesehen richtig erscheinen. ...

Fig. 146.



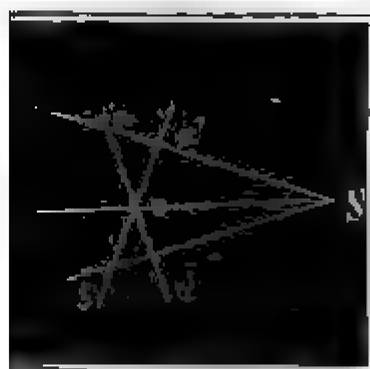
Es erhellt nun leicht, dass wenn die Ebne des Spiegels ... Scale parallel gegenübersteht, das Bild des Mittelpunctes der S... auf der optischen Axe des Fernrohrs erscheinen muss. Dreht ...

*) Magnetometer von dieser Einrichtung, von ausgezeichneter Güte, ... fertigt der Mechanicus Leyser in Leipzig.

7. 

r Magnetstab und nöthigt er dadurch die Spiegelebne, den-
Winkel zu beschreiben, so wird ein anderer Punct der Scale
n Fernrohr erscheinen und durch den Vertikalfaden seines
reuzes gedeckt werden. Jede Aenderung in der Rich-
er Nadel wird also sogleich wahrgenommen. Es sey *a o*
(Fig. 148) die Lage des Spiegels bei einer gewissen Stellung der Magnetnadel; *o* ist die Mitte desselben; *CoS* die Richtung der optischen Axe des Fernrohrs; *AB* die Scale; beide auf eine durch die Mitte des Spiegels gelegte Horizontalebne projicirt. Nach optischen Gesetzen wird ein Punct *A* der Scale durch das Fernrohr sichtbar seyn, wenn $oS = oA$ und wenn der

Fig. 148.



l eine solche Stellung erhält, dass die Linie *AaS* die Ebne des-
winkelrecht durchschneidet, so dass *S*, das Spiegelbild des
A in die Verlängerung der optischen Axe zu liegen kommt.
ler Spiegel einen sehr kleinen Winkel *aoc* beschreibt und
in die veränderte Stellung *co* gelangt, so kommt ein ande-
ct *B* der Scale vor das Fernrohr. Da nun der beschriebene
nach Voraussetzung sehr klein ist, so schneidet die von
chtbar gewordnen Puncte *B* durch den Spiegel gezogne
ime *Bd* fast den Punct *S*, oder das Spiegelbild liegt fast an
m Stelle wie vorher; d. h. wenn der Spiegel aus der Lage
e Lage *cd* übergeht, wird der Beobachter im Puncte *C* nach
h alle zwischen *A* und *B* liegende Puncte vor dem Auge
gehen sehen und es ist für die Empfindung gerade so, als
Mittelpuncte *S* aus der Bogen *ACB* beschrieben worden.
d aber die Dreiecke *coa* und *cSd* einander ähnlich, weil
echtwinklig sind und den Winkel *c* gemein haben; es muss
ch *coa*, der Drehungswinkel des Spiegels und der Nadel,
eyn *ASB*.

denke sich von *S* aus mit dem Halbmesser *SC* einen Kreis
, so bildet die Scale (unter der Voraussetzung dass *AB*
verglichen, klein sey) gleichsam ein Bogenstück dessel-
sey z. B. $Co = 5$ Meter, also $CS = 10$ Meter, so findet

man den Kreisumfang = 62,8 Meter = 62800 mmtre theile. Ein Scalentheil in Unterabtheilungen von G drückt entspricht hiernach 20,63 Sekunden; von di lässt sich aber bei einiger Uebung noch $1/_{10}$ abschät

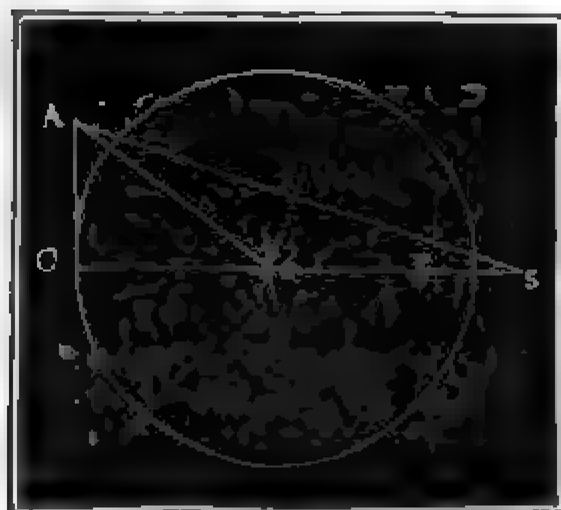
Bei dieser Berechnung blieb unbeachtet, dass d gerade Linie ist und dass S streng genommen nicht al schaftliche Mittelpunct für alle Spiegelbilder genom kann; indem man die vor dem Auge vorübergegan theile dem Ablenkungsbogen des Magnetstabs prop wird daher ein kleiner Fehler begangen. Derselbe w gen Ablenkungen in der Regel ausser Acht bleiben den grössten Ablenkungen, welche sich auf der Sc sen lassen, würde er, die Dimensionen des vorher spiels vorausgesetzt, bis zu 4 Scalentheilen steigen

Die Schärfe, womit die geringste Veränderung i der Nadel alsbald sich erkennen lässt, ergibt sich a aus dem Umstande, dass man niemals auch nur w blicke hindurch genau denselben Punct der Scale behält. Die Ruhelage der Nadel für einen gewissen Z sich daher stets nur aus der Beobachtung ihrer Schw leiten. Zu diesem Zwecke benutzt man am besten auf die sehr langsame Bewegung des Magnetstabs b zuerst in den Resultaten aus den Beobachtungen schen Vereins, Jahr 1836, von Gauss beschriebne V untersucht zuerst, welche gerade Anzahl Sekunden gungszeit der Nadel am nächsten kommt; diese Zah Gleichgewichtslage soll nun für einen Zeitpunct T b den; so beobachtet man, nachdem die Oscillationen worden sind, dass sie innerhalb des Spielraums vo Scalentheilen vor sich gehen, durch das Fernrohr

---

*) Ganz genau lässt sich der Ablenkungsbogen auf folgende W

Fig. 149.



Es bezeichne o die Mitt AC die Scale; Co die F tischen Axe des Fernroh der Scale wird gesehen, gel aus der mit AC par weit abgelenkt ist, dass, Ebne desselben die gera kelrecht durchschneidet. durch direkte Abmessun len die winkelrechte En Spiegels von der Scale $\frac{AC}{Co} = \text{tng}\,\alpha$; es ist aber dem Drehungswinkel de

:her t Sekunden vor dem Termin T und denjenigen
her t Sekunden nachher durch den Perpendikularfaden
reuzes gedeckt wird. Der zuerst bemerkte Punct sey
während sich die Nadel bei der äussersten Ablenkung
in *g* befunden haben mag, so ist es einleuchtend, dass
nach Verlauf von 2 t Sekunden, vom Puncte der
Beobachtung *a* an gerechnet, die Nadel von der jenseitigen Gränze *h* ebenfalls bereits wieder zurückgewichen seyn und dass, wenn die zweite Beobachtung den Punct *b* bezeichnet, der Mittelpunct der Schwingungen bei geringer Dämpfung um so genauer die Mitte zwischen *a* und *b* seyn muss, je kleiner überhaupt die Bewegungen waren. Inzwischen, grösserer Genauigkeit und Sicherheit wegen, beschränkt man sich hierauf nicht, sondern macht noch einige ähnliche Bestimmungen für ein Paar Zeitmomente kurz vor, und eben so viele nach T, immer in gleichen Zeitabschnitten. Unter dieser Voraussetzung,
ı die Aenderung der Declination während dieser Zeit
rmig betrachtet werden darf, wird das Mittel aus allen
ltaten, das für die Zeit T geltende Enderesultat seyn,
ssiger als die einzelne Bestimmung für T selbst.

le Magnetometernadel im hiesigen physikalischen Cabinet vollen-
ıgung in 22 Sekunden. Hieraus bezieht sich die folgende Beob-
bei welcher von einer Beobachtung zur andern allemal 11 = t
lossen

2 Uhr 22′	27″	567		
	38	566	565	
	49	563	563,5	
23′	0	561	563,5	563,7
	11	564	563,5	
	22	566	563,0	
	33	562		

alte enthält die einzelnen Aufzeichnungen, die dritte die aus je
'olle Schwingungszeit von 22 = 2t Sekunden auseinanderstehen-
ngen berechneten Resultate; z. B. 565 ist das Mittel der ersten
obachtung und gilt für den Zeitpunct der zweiten. 563,7 ist das
tiellen Resultate und bezeichnet die Stellung der Nadel um 2

ıcher Strom, der durch die Drahtwindungen geleitet wurde, be-
ränderung dieser Stellung. Man erhielt jetzt

2 Uhr 27′	27″	549,0		
	38	551,5	548,25	
	49	547,5	548,75	
28′	0	546,0	549,00	549,08
	11	550,5	550,65	
	22	555,3	548,75	
	33	547,0		

Und als der Strom wieder unterbrochen wurde:

2 Uhr 32′	27″	564,9		
	38	562,5	563,7	
	49	562,5	563,5	
33′	0	564,5	564,5	563,89
	11	566,5	564,25	
	22	564,0	563,5	
	33	560,5		

Das Mittel der ersten und letzten Stellung, bei welchen kein S die Nadel ging, ist 563,8; hiervon 549,08 abgezogen, erhält man 1 jenige Ablenkung, welche durch den Strom bewirkt wurde. Dies ren wird wegen der Kleinheit des wahren Ablenkun die magnetische Kraft des Stroms proportional gese

Um den Ablenkungsbogen ganz genau zu finden, muss man wi merkung Seite 300 bewiesen wird $\frac{14,72}{R} = \text{tng}\,\alpha$ setzen, wo dann $\frac{\alpha}{2}$ Ablenkungswinkel gibt. R beträgt in unserem Falle 3398 Scale findet hiernach 14,707 anstatt 14,72.

Bei den feinsten magnetometrischen Messungen, z. B. bei den l gen über die Veränderlichkeit in der Abweichung des magnetisch sowie über die Intensität des Erdmagnetismus, hat man auch für nö die unmittelbaren Ergebnisse der Beobachtung auf den durch kraft des Fadens bewirkten Einfluss zu berichtigen; indem durc fluss die Ablenkungen um ein Weniges verringert, die Oscillatio verkürzt werden. Näheres hierüber findet man in Pogg. Ann. B ferner in den Result. aus den Beobacht. des magnetischen Vereins i Seite 128.

Ein Magnetometer der beschriebenen Art mit grosse stabe gestattet, wie man sieht, die Erreichung jeder n schenden Genauigkeit und Schärfe. Es ist das feinste I ment für die magnetischen Kräfte der Erde und des I eignet sich gleich gut, um electrische Ströme von jede messen. Sein Gebrauch ist jedoch mühsam und zeitra Magnetometer empfiehlt sich daher weniger zum reg Gebrauche bei electromagnetischen Untersuchungen, a dazu, den Grad der Brauchbarkeit und Treue anderer Ga zu prüfen und die mit denselben erhaltenen Resultate z ren. Man hat indessen, immer unter Beibehaltung des G Princips, auch Magnetometer von viel kleinerem Umfan zen Magnetstäben ausgeführt; sie bieten, bei wohl etw derter Schärfe ihrer Anzeigen, doch für den gewöhnliche eine ungleich grössere Bequemlichkeit.

Ueber das Maass magnetischer Kräfte

372. Die Magnetnadel gebraucht man, um die Ri Stärke magnetischer Kräfte zu messen, ähnlich wi Schwere - Pendel benutzt hat, die Richtung und Int Schwere zu ermittlen.

Man denke sich einen Magnetstab mit zwei Polen.

r Oberfläche erscheinen mit freiem Magnetismus behaftet, v auf der einen, negativ auf der andern Seite seiner neutraone.

ultiplicirt man irgend ein Element des freien Magnetismus einem senkrechten Abstande von der neutralen Zone, so wird rhaltene Product: das statische Moment dieses magnehen Elementes genannt. Bezeichnen wir die Summe der ente aller Elemente auf der positiven Seite mit μ l; so bedeu- +μ eine Menge von freiem Magnetismus, welche in dem Abde + l ausgeschieden, auf eine Drehung des Stabs um seine e denselben Einfluss äussern würde, wie die auf der positiven s wirklich vorhandnen, jedoch über zahllose Puncte zerstreuagnetischen Kräfte. Eben so kann man sämmtliche auf der tiven Seite vertheilten Kräfte durch eine Kraft — μ, am Heme — l wirksam, ersetzen. Es ist aber (— μ) (— l) = μ l wher; beide vertheilte magnetische Kräfte unterstützen sich bei der Drehung.

Man nennt 2 l μ = M das magnetische Moment eines gnetstabs; 2 l die Scheidungsweite seines freien gnetismus.

373. Die Kraft, vermöge der die Magnetnadel um ihre Drehaxe wingt und eine bestimmte Lage einzunehmen und zu behaupten cht, steht im zusammengesetzten Verhältnisse der Grösse des magnetismus und des auf den Abstand l von der Drehaxe reduten freien Magnetismus der Nadel. Die Stärke des Erdmagnetismus bestimmt werden durch die Grösse der bewegenden aft, welche in Folge seiner Einwirkung auf die Einheit der freien gnetischen Flüssigkeit ausgeübt wird. Diese Stärke sey T; so eichnet der Ausdruck MT das Drehungsmoment der Nadel den Fall, dass ihre magnetische Axe den magnetischen Meri- (d. h. die Richtung des Erdmagnetismus) rechtwinklig durchneidet.

374. Unter Einheit der freien magnetischen Flüssigkeit begreiwir diejenige Menge derselben, deren Abstossungskraft auf gleiche Menge der gleichartigen, oder deren Anziehungskraft ne eben so grosse Menge der ungleichartigen, in der Entfer- = 1, gleich kommt der beschleunigenden Kraft 1 auf die 1. Die beschleunigende Kraft 1 ist aber diejenige, welche alb der Zeiteinheit der in ihrer Richtung sich bewegenden 1 die Geschwindigkeit 1 einprägt; z. B. eine Kraft, welche Milligramme Masse in einer Sekunde eine Geschwindigkeit Millimetre ertheilt.

Ähnlich wird die Schwerkraft als Einheit der beschleunigenden Kräfte mmen. Das neu gewählte Grundmaass hat den Vorzug absoluter Unverchkeit für alle Theile der Erde, und bildet also einen richtigeren Ausnkt der Vergleichung.

Beschleunigung der Schwere ist 9,8088 Metre oder 9808,8 Millimetre;

die beschleunigende Kraft der Schwere in dem angenommenen Grundmaasse der Beschleunigung ausgedrückt, würde also 9808,8 betragen.

375. Für die Pendelschwingungen gilt bekanntlich die Formel $t^2 = \pi^2 \frac{l}{c}$ wo l den Abstand des Schwingungspunctes von der Drehaxe und c die Beschleunigung der in der Pendelmasse wirksamen bewegenden Kraft bedeutet. Der gefundene Werth von c ist aber auch der unmittelbare Ausdruck der beschleunigenden Kraft selbst, wenn diejenige beschleunigende Kraft, welche der Masseneinheit in der Zeiteinheit die Geschwindigkeit 1 ertheilt, als Grundmaass genommen wird.

So würde die beschleunigende Kraft der Schwere = 9808,8 zu setzen seyn, weil c = 9808,8 Mmtre gefunden wird.

Die allgemeine Formel des Pendels ist nicht unmittelbar geeignet, um das Drehungsmoment der Kraft zu bestimmen, welcher es seine Bewegungen verdankt. Sie lässt sich aber sehr leicht zu diesem Zwecke einrichten. Es sey p die in den Schwingungspunct reducirte bewegende Kraft, m die in denselben Punct reducirte Pendelmasse, so ist die beschleunigende Kraft $c = \frac{p}{m}$, folglich auch $c = \frac{pl}{ml}$.

Wird nun dieser veränderte Ausdruck von c, an die Stelle von c in die allgemeine Gleichung gesetzt, so erhält man $t^2 = \pi^2 \frac{l^2 m}{pl}$. Es ist aber $l^2 m = K$ gleich dem Trägheitsmomente der Pendelmasse; kennt man daher das Trägheitsmoment eines Pendels und seine Schwingungszeit, so lässt sich aus der Gleichung $t^2 = \pi^2 \frac{K}{pl}$ das Drehungsmoment *pl* durch Rechnung finden.

Das Drehungsmoment einer unter dem Einflusse des Erdmagnetismus schwingenden Magnetnadel ist, wie wir gesehen haben, MT. Daher $t^2 = \pi^2 \frac{K}{MT}$ die Gleichung des magnetischen Pendels. Lässt sich das Trägheitsmoment eines Magnetstabes ermittlen, so ergibt sich aus der Beobachtung seiner Schwingungszeit, als Formel für das magnetische Pendel: $MT = \frac{\pi^2 K}{t^2}$ (I)

376. Bestimmung des Trägheitsmomentes der Magnetstäbe. Die Mechanik lehrt, dass das Trägheitsmoment eines Körpers von parallelepipedischer Gestalt und bekannter gleichartiger Masse durch Rechnung gefunden werden kann. Die für diese Rechnung geltende Formel, für deren Gültigkeit die Mechanik Rechenschaft gibt, ist: $K = m \frac{l^2 + b^2}{12}$, wo l die Länge, b die Breite, m die

ichtsmasse des parallelepipedisch gestalteten Stabes vorstellt ausserdem noch vorausgesetzt wird, dass derselbe um eine und *b* senkrechte durch den Mittelpunct gehende Axe schwinge. Wenn diese Bedingungen der Gestalt und Aufhängung nicht genügender Schärfe als geltend angenommen werden dürfen, sich das Trägheitsmoment auf folgende Weise experimentell ttlen: Man bestimmt die Schwingungszeit der frei schwingen- Nadel. Man belastet sie hierauf auf beiden Seiten der Drehaxe bgemessnem Abstande mit trägen, unmagnetischen Massen, mit prismatischen Stücken Messing, deren Trägheitsmoment, gen auf die Drehaxe, bekannt ist, oder doch durch Rechnung t gefunden werden kann. Es sey von beiden zusammen = k. ermittelt nun von Neuem die Schwingungszeit der jetzt lang- er schwingenden Nadel, und gelangt auf diese Weise zu den

g. 151. Gleichungen $MT = \frac{\pi^2 K}{t^2}$ und $MT = \frac{\pi^2 (K + k)}{t'^2}$

aus deren Combination sich ergibt: $K = \frac{kt^2}{t'^2 - t^2}$.

Beispiel: Die Magnetnadel, deren Trägheitsmoment bestimmt werden soll, wird mittelst einer kleinen Hülse von dünnem Messingblech an einem ungedrehten Seidenfaden horizontal aufgehängt; am besten unter einem Glasgehäuse, wie in Fig. 151, damit während der Schwingungen jeder Luftzug vermieden wird. Auf dem Boden unter der Nadel ist eine gerade Linie ungefähr in der Richtung des magnetischen Meridians gezogen. Man setzt die Nadel in regelmässige, nicht zu grosse Schwingungen und bestimmt mittelst einer Sekundenuhr die Zeitpuncte, in welchen ihre Längenrichtung mit der Linie auf dem Tische parallel steht.

Zeit. Minuten.	Sekunden.	Mittelwerthe.	reducirt auf die Mitte der Beobachtungszeit.
33	51,5		
	59,5	55,5	+ 3.9,37 = 34′ 23″,61
34	10	4,75	+ 2.9,37 = 34′ 23,49
	18	14,0	+ 1.9,37 = 34 23,37
	28,8	23,4	= 34 23,40
	37	32,9	— 1.9,37 = 34 23,53
	47,8	42,4	— 2 9,37 = 34 23,66
	55,6	51,7	— 3.9,37 = 34 23,59
			34′ 23″,52

Die Zahlen in der ersten Spalte sind auf diese Weise gefunden worden. Die auf dem Tische war nicht genau parallel mit dem Meridian. Aus diesem de ergaben sich auf der einen Seite der Linie Minimums - Schwingungen, der andern Seite Maximums - Schwingungen. Der hieraus entspringende Fehgleicht sich jedoch in den Zahlen der zweiten Spalte vollkommen wieder aus. die Mittelwerthe zwischen je zwei auf einander folgende Beobachtungen bezeichnen die Anfangs - und Endpuncte der einzelnen Schwingungen. den Zeitpuncten 33′ 55″,5 bis zu 34′ 51″,7 sind demnach 6 ganze ngungen enthalten. Während ihrer Vollendung verflossen 56,2 Sekunden.

= 9,37 Sekunden gibt daher die Zeit einer Schwingung.

Dieser Werth lässt sich genauer bestimmen, wenn die Zeitmessung länger gesetzt wird. Es ist aber zu dem Ende gar nicht nöthig, alle Schwingungen

direkt zu zählen, sobald nur die Mitte der Beobachtungszeit von zwei in langem Zeitraum auf einander folgenden Beobachtungsreihen genau ge stimmt wird. Dieser Zeitpunct ist aus der zweiten Spalte nur annähe kannt und beträgt hiernach 34′ 23″,4. Man muss zu demselben Puncte g wenn man zu 33′ 55″,5 drei ganze Schwingungszeiten, oder zu 34′ 4″, ganze Schwingungszeiten, oder zu 34′ 14″ eine ganze Schwingungszeit hi oder auch indem man von 34′ 32″,9 eine Schwingungszeit abzieht u. s diesem Wege sind die 7 Bestimmungen in der letzten Spalte erhalten Das arithmetische Mittel derselben gibt die wahre Mitte der Beobacht = 34, 23″,52. Nach einigen Minuten, während deren Verlauf die Schwi unausgesetzt fortdauerten, wurde die folgende Beobachtungsreihe erha

Zeit. Minuten.	Sekunden.	Mittel-werthe.	reducirt auf die Mitte der Beobachtungszeit.
40′	31		
	42,5	36,75	41′ 4″,74
	50	46,25	4,95
41′	1	55,50	4,90
	9	5,00	5,00
	19,5	14,25	4,85
	27	23,25	4,55
	38,5	32,75	4,75
			41′ 4″,82

Als Zeit einer Schwingung findet man hier 9,33 Sekunden und al Mitte der Beobachtungszeit 41′ 4″,82 in der zweiten Reihe
— — — — 34′ 23,52 in der ersten Reihe.
Der Unterschied von der Mitte der ersten bis zur Mitte der zweiten B tungsreihe beträgt hiernach 6′ 41″,3 = 401,3 Sekunden.

Diese Anzahl von Sekunden muss einer ungeraden Zahl ganzer Sch gen entsprechen, denn bei der einen Versuchsreihe ging die zuerst Schwingung rechts, bei der andern ging sie links. Nun findet man $\frac{401,3}{9,35}$ Die diesem Quotienten zunächst stehende und zugleich ungerade Zal Während des Zeitraums von 401,3 Sekunden müssen also 43 Schw stattgefunden haben; wonach als Zeit einer Schwingung sich die $\frac{401,3}{43} = 9,333$ Sekunden ergibt.

Die Magnetnadel wurde jetzt auf jeder Seite mit 10 Grm belastet. stand der Mittelpuncte dieser Massen von dem Drehpuncte betrug 47, Das Trägheitsmoment beider Massen zusammen, bezogen auf den Di war $k = 44780$.

Die Schwingungszeit wurde auf ähnliche Weise wie vorher ermittel wurde gefunden $t' = 11,32$ Sekunden.

Folglich das Trägheitsmoment der Nadel $K = \frac{44780 \times (9,333)^2}{(11,32)^2 - (9,333)^2}$ =

Der gebrauchte Magnetstab war 99,2 Mmtre lang bei 12,2^{mm} Seite 115,5 Grm.

Das Trägheitsmoment nach diesen Daten berechnet, war 96125.

Das Mittel beider Werthe als der Wahrheit am nächsten kommend a men, und das Milligramme als Einheit der Masse gesetzt, erhält man $K = 95588000$.

Indem man das gefundene Trägheitsmoment der Nadel mit $\pi^2 = 9,8$ tiplicirt und durch $t^2 = (9,33)^2 = 87,105$ dividirt, findet man das Di moment $MT = 10845000$.

Diese Zahl bezeichnet, ausgedrückt in Einheiten des Grundmaasses, d der bewegenden Kraft, den Druck, welcher an einem Hebelsarm von

sam, die gewählte Nadel gerade so um ihren Stützpunkt drehen müsste, lieselbe unter dem Einflusse des Erdmagnetismus wirklich bewegt wird, ihre magnetische Axe mit dem magnetischen Meridian einen rechten Win- bildet. Wollte man diesen Druck in Milligramme übersetzen, so hätte man lie für MT gefundene Zahl durch 9808,8 (nämlich durch die Beschleunigung ichwere) zu dividiren.

377. Wenn man die Drehungsmomente verschiedner Magnet- e an ein und demselben Orte möglichst kurz hinter einander immt, so dass die Intensität des Erdmagnetismus innerhalb der zen Beobachtungszeit als eine constante Grösse betrachtet den kann, so verhalten sich die gefundenen Werthe wie die netischen Momente dieser Stäbe und können daher als Maass elben gelten.

378. Die Stärke der Einwirkung eines Magnetstabs auf eine ernt stehende Magnetnadel verhält sich, bei gleichbleibender enseitiger Lage, direkt wie sein magnetisches Moment und ekehrt wie die dritte Potenz der Entfernung seines Mittelpunc- von dem Mittelpuncte der Nadel.

Fig. 152.



Es sey beispielsweise ns (Fig. 152) die Axe einer kleinen Magnetnadel, in deren Umgebung ein Magnetstab so aufgestellt ist, dass seine Axe in die von dem Mittelpuncte der Nadel errichtete senkrechte CO fällt. Es sey $OC = R$ und $OS = ON = l$, er $+\mu$ und $-\mu$ das in den Polen N und S ausgeschiedene freie magnetie Fluidum, endlich m das magnetische Moment der Nadel. Die Einwirkung des im Pole N befindlichen freien Magnetismus auf die magschen Kräfte der Nadel steht im zusammengesetzten Verhältnisse der Werthe m $+\mu$ und im verkehrten Verhältnisse zum Quadrat des Abstandes NC). Aehnliche Bedingungen gelten für den freien Magnetismus $-\mu$ des Punc- . Das Bestreben des Stabs, die Nadel zu drehen, entspricht daher der Kraft

$$\frac{\mu m}{(R+l)^2} + \frac{-\mu m}{(R-l)^2} = \mu m \frac{(R-l)^2-(R+l)^2}{(R+l)^2(R-l)^2} = \frac{4\mu m l R}{R^4-2R^2l^2+l^4}.$$

iun ist $2\mu l = M =$ dem magnetischen Momente des Stabs, folglich indem er und Nenner durch R dividirt wird:

$$F = \frac{2Mm}{R^3 - 2Rl^2 + \frac{l^4}{R}}$$

Ausdruck, der dem Werthe $F = \frac{2Mm}{R^3}$ um so näher rückt, je grösser R n l.

Einen ganz allgemeinen, mittelst einer einfachen geometrischen Construction ährten Beweis dieses Satzes findet man in Pogg. Ann. Bd. 55. S. 33.

Angenommen die Axen beider Magnete liegen in derselben hontalen Ebne und ns sey die Richtung des magnetischen Meridians, ist senkrecht gegen den Meridian gestellt. Die Nadel werde den Winkel α abgelenkt, so strebt der Erdmagnetismus dieselbe der Kraft $Tm \sin\alpha$ zurückzurufen, während die ablenkende ft des Magnetstabes oder vielmehr das derselben entsprechende hungsmoment sich bis zu $\frac{2Mm}{R^3} \cos\alpha$ vermindert hat. Für die

Bedingung des Gleichgewichtes hat man daher

$$Tm \sin\alpha = \frac{2Mm}{R^3}\cos\alpha$$

und hieraus wieder $\operatorname{tng}\alpha = 2\frac{M}{T}\cdot\frac{1}{R^3}$ (II)

Den Folgerungen, welche zu dieser Formel geführt haben, liegt die Annahme zu Grunde, dass die magnetische Kraft im umgekehrten Verhältnisse des Quadrats der Entfernungen abnehme. Die Bestätigung des gefundenen Gesetzes durch die Erfahrung gibt einen Beweis für die Richtigkeit jener Annahme.

Das Gesetz der Wirkungen eines Magnets in die Ferne, so wie dasselbe oben ausgedrückt wurde, wird übrigens durch den Versuch nur dann gerechtfertigt, wenn die bewegliche Magnetnadel klein und der ruhende Stab in solcher Entfernung aufgestellt ist, dass die Hälfte seiner Länge weniger beträgt als $^1/_{10}$ des Abstandes der Mittelpuncte beider Magnete.

379. Gauss hat die Frage ganz allgemein behandelt (Pogg. Ann. 28. S. 591) und hat gezeigt, dass der Werth von $\operatorname{tng}\alpha$ in einer Reihe nach fallenden Potenzen von R entwickelt werden kann. Für die Mittelwerthe, welche man erhält, wenn man auf die Nadel von entgegengesetzten Seiten symmetrisch einwirkt, ist

$$\operatorname{tng}\alpha = \frac{2M}{T}\cdot\frac{1}{R^3} + \frac{a}{R^5} + \frac{b}{R^7} + \dots \quad \text{(III)}$$

wo die Coefficienten $\frac{M}{T}$, a, b u. s. w. durch Versuche bestimmt werden müssen.

Begnügt man sich mit den beiden ersten Theilsätzen der Gleichung, was geschehen darf, wenn die Abstände nicht unter die dreifache Länge des längsten der beiden Magnete hinabgehen, so braucht man wenigstens zwei Bestimmungen für zwei Abstände oder Werthe von R, welche zu den Gleichungen

$$\operatorname{tng}\alpha = \frac{2M}{T}\cdot\frac{1}{R^3} + \frac{a}{R^5} \text{ und } \operatorname{tng}\alpha' = \frac{2M}{T}\cdot\frac{1}{R'^3} + \frac{a}{R'^5}$$

führen. Man entwickelt daraus: $a = R^5\operatorname{tng}\alpha - 2R^2\frac{M}{T}$

und $\frac{M}{T} = \frac{R^5\operatorname{tng}\alpha - R'^5\operatorname{tng}\alpha,}{2(R^2 - R'^2)}$ (IV)

Indem man die berechneten Zahlenwerthe von $\frac{M}{T}$ und a in die Gleichung setzt, muss sich für jede andere Entfernung R″ die entsprechende Ablenkung α der Magnetnadel im Voraus bestimmen lassen.

Auf diesem Wege hat Gauss ganz allgemein den Beweis für die Richtigkeit des Grundgesetzes aller magnetischen Wirkungen

Ferne geführt. (Zu vergl. N. 283.) Die betreffenden Ver-
wurden mit dem Magnetometer angestellt, indem man den
Magnetstab längs der auf dem Meridian senkrechten durch
telpunct der beweglichen Nadel gehenden Geraden in ver-
nen Entfernungen aufstellte. Von den zahlreichen a. a. O.
4 mitgetheilten Beobachtungen sind die nachfolgenden ent-
orden. Die gebrauchten Magnete waren etwa 0,3 Metre lang.

R Metre	α		
1,3	2°	13′	51″,2
1,5	1°	27	19,1
2	0	37	16,2
3	0	11	0,7
4	0	4	35,9

eim flüchtigen Ueberblicke erkennt man, dass die Zahlen
eiten Spalte fast in umgekehrten Verhältnisse des Cubus
fernungen stehen. Eine noch genauere Controlle für die
keit des Grundgesetzes der Abnahme magnetischer Wir-
(nämlich umgekehrt wie das Quadrat des Abstandes der
uncte der wirkenden Kräfte) gewährt die Gleichung

$$\operatorname{tng} \alpha = 0{,}086870 \frac{1}{R^3} - 0{,}002185 \frac{1}{R^5}$$

cher die Coefficienten aus den Beobachtungen selbst abge-
ind.

. Die beschriebenen Ablenkungsversuche lassen sich, aller-
nit Aufopferung eines kleinen Theils der Genauigkeit sehr
achen, wenn man anstatt des Magnetometers, den folgen-
n W. Weber (Res. a. d. Beob. d. magnet. Vereins Jahr 1836.
angegebenen kleineren Messapparat dazu anwendet. (Siehe

Fig. 153.

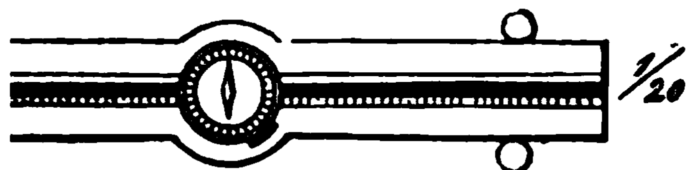


Fig. 153.) Derselbe besteht aus einem ein Metre langen Brette aus festem Holze gefertigt, das mittelst vier Schraubenfüssen auf einem Tische
horizontal gerichtet werden kann. In der Mitte des Bretts
kleine Bussole eingesetzt, deren Nadel höchstens 1 Deci-
lang ist. Die genaue Ablesung ihres Standes kann auf die
früher Seite 296 angebene Weise bewerkstelligt werden.
und links von der Mitte sind Unterabtheilungen des Metre's
agen. Neben der Theilung läuft eine zur Aufnahme kleiner
stäbe bestimmte Rinne. Die Stäbe haben gerade 1 Decime-
ge bei 12 Millimetre Seite. In die Rinne gesetzt, liegt ihre
ische Axe in gleicher Höhe mit dem Mittelpuncte der Nadel.
rauch dieses Apparats ist höchst einfach. Der Maassstab
rizontal und rechtwinklig gegen den magnetischen Meri-
stellt, so dass die Nadel auf den Nullpunct einspielt. Ein

Magnet wird in die Rinne gelegt und bei verschiedenen Abständen desselben die bewirkte Ablenkung der Nadel bemerkt. Anstatt eines Magnets kann man auch zwei zugleich anwenden, die man dann in gleichem Abstande von der Nadel, aber auf entgegengesetzten Seiten, den einen z. B. östlich, den andern westlich und so einlegt, dass ihre Wirkungen sich unterstützen. Weil hierdurch die Ablenkungen bedeutend vergrössert werden, vermindert sich der Einfluss der Beobachtungsfehler. M bedeutet in diesem Falle die Summe der statischen Momente beider Magnetstäbe.

Den Abmessungen der Entfernungen liegt die Annahme zu Grunde, nicht nur einer vollkommen regelmässigen Gestalt der Magnetstäbe, sondern auch einer symmetrischen Vertheilung beider magnetischen Flüssigkeiten rechts und links von der Mitte jedes Stabes. Insbesondere die letztere Annahme kann niemals mit Sicherheit gemacht werden. Man entgeht aber dem hieraus möglicherweise entspringenden Fehler, indem man immer in gleichem Abstande, den Magnetstab einmal auf die Ostseite, dann auf die Westseite der Nadel bringt und bei jeder dieser Standorte je zwei entgegengesetzte Ablenkungen, bei umgekehrter Lage des Stabs beobachtet. Man erhält auf diese Weise vier Beobachtungen, deren arithmetisches Mittel als der wahre Werth von α genommen wird. Beispiel:

R Millimetre	Der Stab von der Nadel	Nordpol des Stabs gegen	Ablenkungen	Unterschiede	α
400	Oestlich	Osten	76°	24,1	12°2′15″
	Oestlich	Westen	100°,1		
	Westlich	Westen	100°,05	24,05	
	Westlich	Osten	76°		
300	Oestlich	Osten	61°	55	27°29′15″
	Oestlich	Westen	116°		
	Westlich	Westen	115°,95	54,95	
	Westlich	Osten	61°		

Bei diesen Versuchen waren eigentlich zwei Magnetstäbe von fast gleicher Stärke, in der oben angedeuteten Weise gleichzeitig angewendet worden. Ihre gemeinschaftliche Wirkung entspricht indessen genau der eines einzigen Magneten, dessen Moment $M =$ ist der Summe der Momente beider Stäbe. Die Werthe von R und α in die Gleichung (IV. N. 379) substituirt erhielt man $\frac{M}{T} =$ 65[illegible]

381. Die Tangenten der Ablenkungen einer Magnetnadel unter dem gleichzeitigen Einflusse des Erdmagnetismus und eines Magnetstabs liefern uns das statische Moment des lezteren, dividirt durch die Intensität des Erdmagnetismus. Aus den Schwingungen desselben Stabes unter dem alleinigen Einflusse des Erdmagnetismus, lässt sich, wie wir früher gesehen haben, sein Drehungsmoment oder das Product aus seinem statischen Momente in die Intensität des Erdmagnetismus ableiten. Aus der Verbindung beider Gleichungen

ın daher nicht nur die mangetische Kraft der Erde, son-
ı das magnetische Moment des Stabes, beide unabhängig
ıder und ausgedrückt in absolutem Maasse.

wurde z. B. gefunden $\frac{M}{T} = 6566500$.

hungsmoment des einen der bei den betreffenden Ablenkungsversu-
achten Magnetstäbe war $M'T = 10845000$.
hungsmoment des andern, auf ähnliche Weise
bestimmt, $M''T = 11420000$.
$fT = (M' + M'')T = 21265000$.
leichungen multiplicirt und die Wurzel ausgezogen, erhält man
$M = 11817000$.
ite Gleichung durch die erste dividirt und wieder die Quadratwurzel
findet man

$$T = 1{,}800.$$

hungsmoment der Erde auf eine transversale Nadel, deren Moment
giebt sich hiernach $= 1{,}8\ M$, wobei das Drehungsmoment eines Milli-
ichtes, an einem 1 Millimetre langen Hebel $= 9808{,}8$ gerechnet wird.
ler Rechnung dasjenige Maass zu Grunde, wonach das Drehungsmo-
Milligrammgewichtes an einem 1 Millimetre langen Hebel $= 1$, so sind
'erthe von M und T in dem Verhältnisse von $\sqrt{9808{,}8} : 1 = 99{,}04 : 1$ zu
, nach diesem grösseren Maasse gerechnet, wird: $T = \frac{1{,}8}{99{,}04} = 0{,}01817$.

'erth T gibt, wie aus der Beobachtungsmethode von selbst
et, nur den horizontalen Theil des Erdmagnetismus. Um
ie absolute Intensität abzuleiten, muss T mit dem Cosi-
r Neigung (Inclination) dividirt werden.

bsolute Intensität des Erdmagnetismus wächst mit der
s Beobachtungsortes, während umgekehrt der horizontale
selben nach Norden hin abnimmt und über dem magneti-
rdpol Null wird. Die horizontale magnetische Erdkraft
wo eigens dazu eingerichtete Räume fehlen, am sicher-
'reien, entfernt von Gebäuden und eisernen Geräthschaf-
ssen. In Zimmern von nicht sehr bedeutendem Umfange
Werth von T durch die benachbarten Eisenmassen, wie
nsterstangen, Wetterableiter u. s. w. oft beträchtlich ge-
Es ist übrigens klar, dass der Werth von T, einmal be-
ıag derselbe nun die wahre oder durch dauernde äussere
modificirte magnetische Kraft der Erde bezeichnen, an
der Beobachtung eine sichere Basis bildet, um danach
ıngen anderer magnetischer Kräfte auf absolutes Maass
bren zu können. Wir erlangen hierdurch ein Mittel, die
lensten magnetischen Einwirkungen auch unabhängig
bachtungsorte mit einander zu vergleichen.

Das Bifilar-Magnetometer. Die Grösse von T ist
: an verschiedenen Orten der Erde verschieden, sondern
ein und demselben Orte veränderlich, sowohl durch Jahr-
und Jahre, als auch nach den Jahreszeiten und Tages-

stunden. Die gewöhnlich sehr kleinen täglichen Varia
Intensität lassen sich mit den bis jetzt beschriebenen H
des Messens nicht leicht ausfindig machen. Gauss ha
diesem Zwecke einen besonderen Apparat eingericht
den Namen Bifilar-Magnetometer gegeben hat. Da
terscheidet sich von dem gewöhnlichen Magnetometer
nur durch das System der Aufhängung. Man denke si
Rolle einen dünnen Draht geschlungen und an den bei
hangenden Enden ein Gewicht befestigt; so werden in
des Gleichgewichtes beide Drähte senkrecht hängen und
Senkrechte, mitten zwischen diesen Fäden gedacht,
Schwerpunct des Gewichtes treffen. Bringt man den l
dieser Lage, mittelst einer Drehung um die Schwerpu
so werden beide Drähte nicht mehr senkrecht und auch
in einer Ebne sein, und zugleich wird das Gewicht um
hoben. Es erhält folglich ein Bestreben zu der vorige
rückzukehren, welcher ein Drehungsmoment entspric
der Grösse des Ablenkungsbogens zunimmt*). Man
bifilar aufgehängten Körper als ein um die Schwerlinie
schwingendes Pendel betrachten. Gesetzt die Ebne bei
während der Ruhelage falle mit der des magnetische
zusammen und ein horizontaler Magnetstab bilde eine
theil des aufgehängten Gewichtes, so werden die dur
hängung bewirkte Richtungskraft und die magnetisch
unterstützen, die Ruhelage zu erhalten. Bei jeder ande
der Fäden wirkt die erstere Kraft der letzteren entgeg
thigt dadurch die Magnetnadel aus ihrem Meridiane hera
und eine mittlere Stellung einzunehmen, worin beide Kr
der das Gleichgewicht halten. Durch passende Drehu
knüpfungspuncte der Fäden gibt man nun der Nadel e
Stellung, dass sie mit dem magnetischen Meridiane r
rechten Winkel bildet. Der Erdmagnetismus äussert in di
das Maximum seines Einflusses auf ihre Bewegung u
ringste Aenderung seiner Intensität bewirkt eine pr
Veränderung des Drehungsmomentes MT, welche si
durch eine kleine Verrückung der Nadel geltend mac
Veränderungen der Declination oder der Richtung de
schen Meridians, bleiben dagegen ohne bemerkbaren E
ihre Stellung, weil das dadurch geänderte Drehungsm
Cosinusse des Ablenkungswinkels proportional ist, d

*) Dieses Drehungsmoment ist unter Voraussetzung langer Drä
aus der Ablenkung von der Ruhelage fast genau proportional un
bei einer Ablenkung von 90° seinen grössten Werth. Letzterer
ausserdem verkehrt wie die doppelte Fadenlänge, direkt wie das
Abstandes beider Fäden und direkt wie das angehängte Gewicht. (
Weber Result. etc. 1837 S. 1.)

sehr kleinen Winkels aber von der Einheit nicht merklich cht.

ttelst des Bifilar-Magnetometers entdeckt man also die fein- Aenderungen der magnetischen Intensität der Erde, ähnlich ian mit dem Unifilar-Magnetometer die geringsten Schwan- n ihrer Richtungskraft wahrnimmt. In der That zeigen beide a selten auch nur wenige Minuten hindurch einen ganz un- derten Stand und liefern hierdurch den Beweis, dass sowohl ng wie Stärke der magnetischen Erdkraft fortdauernden Stö- n unterliegt.

s Bifilar-Magnetometer ist auch anwendbar, um Magnetstäbe chtlich ihrer magnetischen Stärke unter einander zu verglei- ferner in Verbindung mit einem Multiplicator für galvanome- Zwecke. Es bietet jedoch in dieser Beziehung keine Vor- vor dem Unifilar-Magnetometer.

dürfen diesen Abschnitt nicht schliessen, ohne zu erwähnen, dass man, ichlich durch die Bemühungen A. von Humboldt (Gilberts Ann. 1801 d 1805 St. 7.) und Hansteen's in Christiania (Pogg. Ann. B. 28 S. 225) über die Veränderungen in der Stärke des Erdmagnetismus ziemlich hnte Kenntnisse hatte, lange bevor man im Besitze von Mitteln war, die magnetischer Kräfte nach absolutem Maasse zu bestimmen. Um nämlich rke des Erdmagnetismus an verschiedenen Orten kennen zu lernen, be- es nur, die Schwingungen einer und derselben Magnetnadel an allen die- ten zu zählen. Die gesuchten Intensitäten mussten sich dann verhalten, rt wie die Quadrate der Schwingungszeiten. Die so gefundenen Werthe mittelbar freilich nur unter einander vergleichbar. Hatte man jedoch hwingungsdauer mehrerer Nadeln von beständiger magnetischer Kraft an d demselben Orte gemessen und die gefundenen Werthe unter einander hen, so war die Möglichkeit gegeben, alle späteren mit diesen Nadeln enen Resultate auf einerlei Maasseinheit zurückzuführen. Dieses Verfah- tt, wie man sieht, voraus, dass der freie Magnetismus der angewendeten sich ganz unverändert erhalte; eine Annahme, die allerdings nicht streng g ist und auf lange Zeit hin jedenfalls nicht gelten kann. Durch die Zu- irung auf absolutes Maass ist man jetzt in den Stand gesetzt, die Beschaf- der Nadel, so oft es erforderlich scheint, einer ganz sicheren Controlle rwerfen.

isgerüstet mit sicheren Hülfsmitteln, die Gegenwart electri- Ströme zu erkennen und bis zu ihren letzten Spuren zu ver- , ihre Stärke zu messen, den Grad ihrer Beständigkeit, sowie auer zu prüfen und endlich ihre magnetischen Wirkungen enen der Erde und des Eisens zu vergleichen, können wir zu einer umfassenden Untersuchung ihres Verhaltens über- l.

Die electrochemische Zersetzung (Electrolyse).

13. Die Erzeugung eines galvanisch electrischen Stroms er- rt die Verbindung zu einer geschlossnen Kette von wenig- drei chemisch verschiedenen, die Electricität leitenden Kör-

pern, unter welchen wenigstens einer zusammengesetzt, a
flüssig sein muss. In dieser zusammengesetzten Flüssig
mit dem Beginne des Stroms eine sehr bemerkenswerthe
rung vor, welche bei Strömen von einiger Stärke alsb
Augen fällt. Es werde z. B. eine Platinplatte und ihr g
eine amalgamirte*) Zinkplatte in verdünnte Schwefelsäu
taucht. So lange beide Metalle an keinem Puncte in B
kommen, erhalten sie sich in der Flüssigkeit unverändert
man aber Zink und Platin in unmittelbare Berührung br
auch durch Vermittlung eines andern Metalls die Kette
zeigt sich an der Oberfläche des Platins eine lebhafte Ga
lung, während das Zink sichtbar angegriffen und nach
aufgelöst wird. Das entwickelte Gas ist Wasserstoff. S
säure muss also zersetzt worden seyn, ihr Radical SO_4
sich mit dem Zink, während Wasserstoff dafür ausg
wurde. Verbindet man mehrere galvanische Paare zu
sammengesetzten Kette, so zeigt sich ein ganz ähnliche
ten in der Flüssigkeit eines jeden Gliedes derselben. W
Kreis der zusammengesetzten Kette ein Gefäss mit Fl
eingeschaltet, in welche zwei ganz gleiche Metallstreife
chen, so geht nichts desto weniger auch hier eine Zerset
sich. — Ein solches, für sich betrachtet, unwirksames G
galvanischen Säule, nennt man vorzugsweise: die Zerse
zelle.

Für die durch den electrischen Strom unmittelbar bew
mische Zersetzung scheint der von Faraday gewäh
Electrolyse allgemein angenommen worden zu seyn
sammengesetzte Stoff selbst, welcher der Electrolyse u
heisst Electrolyt.

Die meisten, wenn nicht alle zusammengesetzten Fl
ten, welche zugleich Leiter der Electricität sind, könne
Zersetzungszelle gebracht, durch den electrischen Strom
werden. Sie sind jedoch nicht alle mit gleicher Leichti
setzbar.

Z. B. Jodkalium in Wasser aufgelöst, wird durch die K
jeden einfachen electrischen Paares zersetzt.

Verdünnte Schwefelsäure in der Zersetzungszelle l
wenigstens in auffallender Weise, nur unter dem Einflu
kräftigen Electromotors in ihre näheren Bestandtheile S
zerlegen.

Reines Wasser zersetzt sich noch weit schwierig

*) Man amalgamirt die Zinkplatten durch Eintauchen in aufgelö
tersaures Quecksilber, oder auch indem man auf der mit verdünnte
säure oder Salzsäure gereinigten Platte metallisches Quecksilber d
ausbreitet. Amalgamirte Zinkplatten gleichwie chemisch reines Zi
sich in Salzsäure und verdünnter Schwefelsäure unauflöslich.

es der Einwirkung starker galvanischer Batterien ausge-
ird.

Welche Flüssigkeit übrigens zersetzt werden mag, immer
an, dass ihre Elemente getrennt von einander, das eine an
n, das andere an der andern der eingetauchten Platten sich
rn; mögen nun diese Platten einander nahe oder entfern-
nüberstehen. Man bemerkt zugleich, dass der electro-
e Bestandtheil einer Verbindung (z. B. der Wasserstoff
ssers) an demjenigen Metallstreifen ausgeschieden wird,
chem aus die negative Electricität in die Flüssigkeit
t, d. i. an dem negativen Pole oder an der negativen Seite
te; der electronegative Bestandtheil hingegen
r Sauerstoff) an derjenigen Metallfläche, von welcher aus
itive Electricität eindringt, nämlich am positiven Pole
der positiven Seite*).

Besitzt eine eingetauchte Metallplatte die Eigenschaft, sich
an ihrer Oberfläche durch die Electrolyse ausgesonderten
hen Elemente verbinden zu können, so geht diese Verbin-
der Regel auch vor sich. Werden z. B. Zink- oder Kupfer-
berplatten in die verdünnte Schwefelsäure der Zersetzungs-
ebracht, so entwickelt sich am negativen Pole Wasserstoff,
nd am positiven ein schwefelsaures Metallsalz gebildet wird.
aucht man als negativen Pol eine oxydirte Substanz, welche
Electricität leitet, z. B. Braunstein, so wird sie auf Kosten des
entbindenden Wasserstoffs desoxydirt. Taucht man aber Pla-
atten ein, so geht an beiden eine Gasentwicklung vor sich und
erhält man an der negativen Seite Wasserstoff, an der posi-
n Sauerstoff. Ist der Apparat so eingerichtet, dass beide Gase
trennt aufgefangen werden können, und hatte man als Flüssig-
t ein Gemenge von reinem Wasser mit reiner Schwefelsäure
wählt, so zeigt sich das Verhältniss der Volumina von Wasser-
f und Sauerstoff wie 2 : 1. Lässt man beide Gase zusammen in

---

*) Die Pole einer geschlossenen galvanischen Kette, oder richtiger, die mit
Polen verbundenen Begränzungsflächen der Flüssigkeit in der Zersetzungs-
werden von manchen Physikern nach dem Vorgange Faraday's: die Elec-
en genannt. Die Fläche der Flüssigkeit selbst, da wo sie die positive
ode, also diejenigen Begränzungspuncte berührt, von welchen aus die
ve Electricität eindringt, heisst Anode, da wo sie die negative Electrode
t, Kathode. Den Elementen des sich zersetzenden Stoffs, des Electro-
wird nach dieser Terminologie der Name Ionen gegeben; der electrone-
Bestandtheil (der an der Anode sich ausscheidende) für sich betrachtet
Anion, der electropositive Bestandtheil Kation.
se Namen sind in der vorliegenden Schrift nicht adoptirt worden, weil
artigen Bezeichnungen, die statt anderer bereits üblich gewordner ge-
erden, ohne doch etwas wirklich Neues zu sagen und ohne etwas zu er-
, wohl Verwirrung, aber kein Nutzen für die Wissenschaft entspringen

ein Eudiometer geben und entzündet sie dann durch den electrischen Funken, so verschwinden beide vollständig. Durch die Electrolyse hatten sich also gleiche Aequivalente Wasserstoff und Sauerstoff gebildet.

In allen übrigen, Flüssigkeit enthaltenden Zellen, welche Glieder einer Säule ausmachen, geht die electrochemische Zersetzung ganz in demselben Sinne vor sich, wie in der vorzugsweise sogenannten Zersetzungszelle; an der Seite, von welcher die positive Electricität einströmt, tritt das negative Element der zersetzten Verbindung auf, auf der gegenüberstehenden Seite das positive Element. Dieses Verhalten bemerkt man selbst in der Flüssigkeit solcher Zellen, die einer electrischen Säule in verkehrter Ordnung eingeschaltet worden sind.

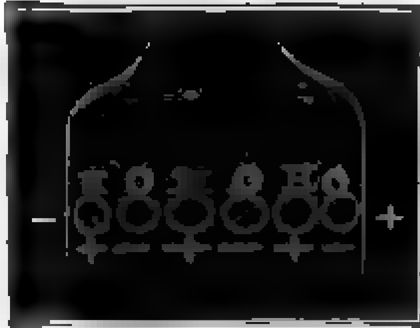
Füllt man z. B. in dem Volta'schen Becherapparate (Fig. 1.. S. 273) sämmtliche Gefässe mit verdünnter Schwefelsäure und schliesst die Kette durch Verbindung der beiden Enden, so entwickelt sich Wasserstoff an allen Kupferplatten, während an allen Zinkplatten schwefelsaures Zink gebildet wird. Vertauscht man eine Zinkplatte mit einer Platinplatte, so tritt Sauerstoffgas an derselben auf. Kehrt man ein einzelnes Metallpaar um, d. h. bringt man seinen Kupferstreifen an die Stelle, welche der Ordnung nach der damit verbundene Zinkstreifen einnehmen sollte, und folglich das Zink an die Stelle des Kupfers, so scheidet sich an dem verkehrt eingereiheten Zink Wasserstoff ab, und das Metall bleibt unaufgelöst, während alle übrigen Zinkplatten aufgelöst werden; an dem verkehrt eingeschalteten Kupfer wird schwefelsaures Kupfer gebildet. Kurz je nach der Stellung, die man einem Metalle in der electrischen Kette gibt, lässt sich seine Einwirkung auf die Flüssigkeit begünstigen und aufhalten; und diess selbst in solchen Flüssigkeiten, auf welche es unter gewöhnlichen Umständen ganz wirkungslos erscheint. Die meisten Metalle, mit Ausnahme von Gold und Platin, als positives Ende einer kräftigen Kette, können sogar in reinem Wasser und bei Abschluss der Luft oxydirt werden.

Man kann sich von der electrochemischen Zersetzung durch die folgenden theoretischen Betrachtungen Rechenschaft geben: Ungleichartige Stoffe gelangen im Augenblicke der Berührung in einen entgegengesetzt electrischen Zustand, oder sie nehmen eine bestimmte electrische Differenz an, die sich, so lange die Berührung währt, unveränderlich erhält (344). Dieser Satz für Körper von messbarer Grösse als richtig erkannt, muss für ihre kleinsten unmessbaren Theile, für die Atome selbst, eine gleiche Geltung haben. Nun ist jede chemische Verbindung eine Nebeneinanderlagerung ungleichartiger Elemente, z. B. in einem Atom Wasser ist ein Atom Wasserstoff neben ein Atom Sauerstoff gelagert. Das eine dieser Elemente muss sich daher fortdauernd im positiv electrischen Zustande, das andere fortdauernd im negativ electrischen Zustande befinden; und zwar lehrt das Gesetz der Spannungsreihe (346), dass der Sauerstoff oder der in der chemischen Verbindung die Rolle desselben übernehmende Stoff $-E$, der andere dem Kalium verwandtere oder dessen Stelle vertretende $+E$ enthält. In dem Wasserelemente z. B. ist H positiv, O negativ electrisch.

So wie der flüssige Leiter in den Kreis des electrischen Stroms gelangt

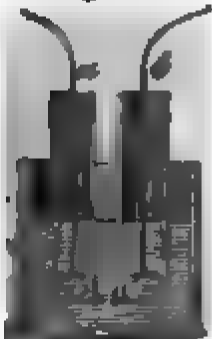
werden seine Elemente je nach ihrer besonderen electrischen Beschaffenheit von den eingetauchten Polplatten angezogen und die leicht beweglichen flüssigen Theile werden dadurch genöthigt, sich nach der in Fig. 154 angedeuteten Weise zu ordnen. Von diesem Augenblicke an tritt jedes Atom der Flüssigkeit in ganz gleiche Beziehung zu den einen oder andern der beiden benachbarten Atome; es kann eben so wohl mit dem einen wie mit dem andern verbunden betrachtet werden. In eine ähnliche Beziehung treten die äussersten Sauerstoff- und Wasserstoffatome zu den kleinsten Theilchen der eingetauchten Metallplatten, womit sie in Berührung kommen. Auf diesen Polplatten bemerkt man aber, als Folge der electromotorischen Thätigkeit, ein Uebergewicht der electrischen Anhäufung (365). Man hat Grund anzunehmen, dass dadurch ihre chemische Anziehung zu den entgegengesetzt electrischen Elementen der *Flüssigkeit* verstärkt wird, bis sie die entgegenwirkende Anziehung der gleichartig electrisirten Elemente überwiegt; ihre Verbindung, wenn überhaupt möglich, muss daher vorzugsweise erfolgen. Reisst nun vermöge dieser gesteigerten Wirksamkeit z. B. die in das Wasser eingetauchte positive Polfläche die benachbarten Sauerstofftheile an sich, so findet die Affinität der früher mit diesem Sauerstoffe verbundenen Wasserstoffatome Befriedigung in der Anziehung der zunächst liegenden noch nicht ausgeschiedenen Sauerstofftheile, deren Wasserstoff sich dann wieder auf die folgenden Sauerstoffatome wirft u. s. f., bis zu den an der negativen Gränzfläche anlehnenden Wasserstofftheilen, die sich mit der Substanz jener Gränzfläche zu verbinden streben. Kann diese Verbindung nicht vor sich gehen, so muss sich die eingetauchte Platte, vermöge der wechselseitigen Anziehung entgegengesetzt electrisirter Theilchen gleichwohl mit einer Schicht Wasserstoff überziehen. Alle später aus ihrer Verbindung mit dem Sauerstoffe austretenden Wasserstoffatome finden also gar keine freien Metallpuncte mehr vor, von welchen sie festgehalten werden können; sie entwickeln sich *in Gasform*, indem sie ihre *freie* $+E$ *auf* die die Metallplatte umhüllende und *eben* dadurch mit *freier* $-E$ beladene Wasserstoffschicht absetzen, und aus dem sogenannten Erzeugungszustande (*status nascens*) in den gewöhnlichen Zustand übergehen. Nach dieser Vorstellungsweise ist Leitung der Electricität durch eine zersetzbare Flüssigkeit nichts anderes als eine Uebertragung der ursprünglich in jedem Atom der Verbindung enthaltenen Electricitätsmenge von Atom zu Atom, und man gelangt zu der weiteren Folgerung, dass die Menge der fortgeleiteten Electricität gleichen Schritt halten müsse mit der Quantität der Zersetzung. Für die Richtigkeit dieser Folgerung werden wir später einen directen Beweis erhalten.

Fig. 154.



386. Die Electrolyse ist stets von einer Ueberführung von einem Pole zum andern wenigstens des einen der Bestandtheile der zerlegten Verbindung begleitet. Um diese Erscheinung deutlich wahrnehmen zu können, muss man der Zersetzungszelle eine Einrichtung, etwa so wie die Figur 155 andeutet, geben. *a* und *b* sind offene Glascylinder, die man in die Flüssigkeit der Zelle zu beliebiger Tiefe eintaucht; der eine ist bestimmt, um die positive Polplatte, der andere um die negative Polplatte einer kräftigen galvanischen Batterie aufzunehmen.

Fig. 155.



Gesetzt dieses Gefäss enthält verdünnte Schwefelsäure, so verschwindet die saure Reaction in der Umgebung des negativen

Pols nach und nach vollständig. Hatte man die untere Oeffnung des Rohrs *a* mit Blase umbunden, welche den Durchgang der Electricität nicht hindert, ohne doch eine unmittelbare Vermischung der inneren mit der äusseren Flüssigkeit zu gestatten, so concentrirt sich die Säure in *a*, während die in *b* fortgeht. — Ist die der Zersetzung unterworfene Flüssigkeit eine Lösung von Glaubersalz oder von irgend einem andern alkalischen Salze, so geht nach und nach alles Alkali von *a* nach *b*, die Säure von *b* nach *a*. Bringt man aber ein Ammoniaksalz oder die Auflösung eines schweren Metalles, z. B. Kupfervitriol, in die Zelle, so wird nur die Säure fortgeführt und verschwindet in dem Rohre *b* gleichzeitig mit dem Kupfer, das ausgefällt wird, ohne dass sich die Menge des Kupfers in der Nähe des positiven Pols merklich vermindert. Hat man das Rohr *b* mit Blase umbunden und vor Anfang des Versuchs mit reinem Wasser gefüllt, so scheidet sich unmittelbar an der Gränzfläche beider Flüssigkeiten Kupferoxyd ab, in sehr geringer Menge zwar, aber allmählig aufwärts wachsend gegen die Polplatte hin, an welcher sich Wasserstoffblasen absetzen. Auf dieselbe Weise verhalten sich auch andere Metallsalze, deren Basen in Wasser unauflöslich sind, wie Manganoxydul, Eisenoxydul, Zinkoxyd, Bittererde u. s. w. Man muss hieraus schliessen, dass ihre metallischen Radicale doch nicht ganz unfähig sind, während des electrischen Zersetzungsprocesses fortgeführt zu werden.

387. Gewöhnlich findet man, dass die chemische Zersetzung in der geschlossnen Kette gleich nach der Schliessung am raschesten vor sich geht, nach kurzer Zeit aber sehr auffallend abnimmt. Hat man ein Galvanometer eingeschaltet, so zeigt sich eine gleichzeitige Abnahme in dessen magnetischer Wirksamkeit. Diese Verminderung erreicht in vielen Fällen einen kleinsten Werth, bei welchem dann die Stromstärke längere Zeit (z. B. bei Anwendung von Zink und Kupfer in verdünnter Schwefelsäure, bis zur völligen Abstumpfung der letzteren) ziemlich unveränderlich anhält. Oft bemerkt man aber auch eine fortdauernde Abnahme, zuweilen bis zum gänzlichen Verschwinden des Stroms.

Die Stromstärke nimmt wieder zu, wiewohl selten bis zur anfänglichen Grösse, wenn man die Kette eine kurze Zeit geöffnet lässt. Die ganze anfängliche Stärke wird gewöhnlich nur dann wieder erreicht, wenn die Metallplatten, hauptsächlich diejenigen auf der negativen Seite jeder Zelle herausgenommen und sorgfältig gereinigt werden.

Metallplatten, deren electrische Erregungsfähigkeit auf die beschriebene Weise verändert worden ist, nennt man polarisirt. Dieser Name ist in Gebrauch gekommen, lange bevor man die Natur jener Veränderung deutlich erkannt hatte. Jetzt weiss man, dass die sogenannte electrochemische Polarisation durch den Absatz irgend fremdartiger Stoffe herbeigeführt wird, die auf den is

ıer Flüssigkeit befindlichen Metallplatten in Folge der Electrolyse usgeschieden werden.

Man tauche z. B. ein Paar Zink-Kupferplatten einander gegenber in eine concentrirte Lösung von Zinkvitriol und verbinde sie urch Vermittlung des Multiplicatordrahts. Es zeigt sich ein Strom, nfangs von bedeutender Stärke, der aber rasch abnimmt und allıählig aufhört. Dabei bedeckt sich das Kupfer mit metallischem ink und wird davon nach und nach weiss (oder bei Erwärmung er Flüssigkeit, durch Bildung von Messing, gelb) gefärbt; wähend die Zinkplatte bemerkbar angegriffen wird und an Gewicht erliert. Unter dem Einflusse der electromotorischen Kraft, erregt ei der Berührung des Zinks mit Kupfer, war also das erstere beihigt worden, den Zinkvitriol zu zersetzen und sich seiner Schwelsäure zu bemächtigen, während das hierdurch aus der Flüssigeit ausgesonderte Zink auf dem Kupfer niedergeschlagen wurde. Diese Wirkung musste jedoch aufhören, sobald beide Metalle eine leichartige Oberflächen-Beschaffenheit angenommen hatten.

Wird in einer galvanischen Kette Wasser oder eine wässrige erbindung zersetzt, so umhüllt sich die electronegative Gränzäche der Kette mit Wasserstoff, ähnlich, wie vorher das Kupfer ıit Zink. Wenn man eine solche durch Wasserstoff polarisirte letallplatte mit einer andern, reinen übrigens gleichartigen Platte u einer Kette schliesst, so entsteht ein bald wieder erlöschender Strom, wobei die mit Wasserstoff umgebene Metallseite die Stelle les Zinks übernimmt. Das Zink selbst, nachdem sich Wasserstoff laran abgelagert hat, verhält sich reinem Zinke gegenüber auf urze Zeit wie ein electropositiveres Metall. Dieses Verhalten wird ıber nur durch die Gegenwart des Wasserstoffs bedingt und hört vieder auf, so wie letzterer verschwunden ist. Der Wasserstoff behauptet folglich in der Spannungsreihe eine dem Kalium näher iegende Stelle als das Zink. — Man begreift nunmehr, dass der Wasserstoff, sobald er sich an dem electronegativen Metalle (an der Kupfer- oder Platinplatte) abzuscheiden beginnt, die vorherige Richtung der electromotorischen Thätigkeit umzudrehen, d. h. eine Kette in der Ordnung Wasserstoff, Flüssigkeit, Zink, Platin, Wasserstoff (anstatt der früheren Ordnung: Zink, Flüssigkeit, Platin, Zink) zu bilden strebt, deren Wirksamkeit, insofern das Platin sich mit einer Hülle von Wasserstoff vollständig umgeben konnte, der electrischen Differenz des Wasserstoffs bei unmittelbarer Berührung mit dem Zinke entsprechen muss (347). Eine solche vollständige Umkehrung des primären Stroms, hervorgerufen durch eine sekundäre electromotorische Thätigkeit, kann unter gewöhnlichen Umständen begreiflicher Weise nicht eintreten. Sie kann aber vorübergehend erhalten werden, wenn man eine Platinplatte in reinem Wasser zuerst als — Pol einer kräftigen Batterie anwendet, und dann in derselben Flüssigkeit mit Zink zu einer Kette

verbindet. D. h. man erhält unter diesen Umständen einen Strom, der anfangs von dem Platin durch die Flüssigkeit zum Zinke übergeht, dann nach und nach abnimmt, verschwindet und endlich nach einer kurzen Zeit des Stillestandes die Nadel, mit geringer Kraft, jedoch bleibend nach der andern Seite ablenkt.

Die Erregungsfähigkeit des Platins wird in umgekehrtem Sinne verändert, es wird entgegengesetzt polarisirt, wenn sich Sauerstoff daran absetzt. Sein Vermögen, andere Metalle bei der Berührung electropositiv zu erregen, wird nämlich scheinbar dadurch gesteigert; in der That aber ist es die Sauerstoffhülle, von welcher diese erhöhte Wirksamkeit herrührt.

Zwei Platinplatten, von denen die eine mit Wasserstoff, die andere mit Sauerstoff polarisirt ist, in verdünnter Schwefelsäure einander gegenübergestellt und metallisch verbunden, verhalten sich einige Augenblicke wie eine Wasserstoff-Sauerstoffkette, deren electromotorische Kraft, wegen des weiten Abstandes dieser Stoffe in der Spannungsreihe, von sehr beträchtlicher Grösse ist. Aus mehreren Elementen dieser Art in gleichem Sinne hinter einander geordnet, lassen sich Säulen von sehr bedeutender Wirksamkeit, aber freilich nur kurzer Dauer errichten. Poggendorff ist es durch eine sinnreiche Vorkehrung gelungen, die Polarisation der Platinplatten während des Gebrauchs immer wieder zu erneuern und er hat dadurch die Kraft einer solchen Wasserstoff-Sauerstoffsäule wirklich nutzbar zu machen gewusst (Pogg. Ann. 60. S. 568). Auf der Polarisation der Metallplatten beruhen alle Eigenschaften der von Ritter entdeckten sogenannten Ladungssäule. Eine Anzahl gleichartiger Metallplatten, z. B. Kupferplatten, abwechselnd mit feuchten Pappscheiben zusammengeschichtet, werden eine Zeitlang in den Kreis der Säule oder auch nur zwischen beide Conductoren einer kräftigen Electrisirmaschine gebracht; wodurch sie auf kurze Zeit das Verhalten einer selbstthätigen electrischen Säule annehmen.

Platinplatten, die sich durch Eintauchen in Sauerstoff- oder Wasserstoffgas mit einer Schicht des einen oder andern dieser Stoffe bekleidet haben, verhalten sich ähnlich wie das durch Electrolyse polarisirte Platin; und überhaupt nimmt eine jede Metallplatte, die auf irgend welche Weise mit einer noch so dünnen Schicht eines fremdartigen Stoffes bedeckt worden ist, ganz dieselbe Beschaffenheit an, wie wenn sie durch denselben Stoff auf electrochemischem Wege polarisirt worden wäre.

Da nun die Oberflächen der Körper selten ganz rein und selbst dann, wenn es dem Auge nicht unmittelbar auffällt, meistens dennoch mit Spuren fremdartiger Stoffe bedeckt sind; so wird es begreiflich, dass selbst gleichartige Metalle, z. B. zwei Streifen aus demselben Stücke geschnitten, wenn sie neben einander in eine Flüssigkeit gesenkt und durch die Enden eines empfindlichen Mul-

licators verbunden werden, häufig eine bemerkbare Ablenkung r Nadel bewirken, die jedoch in den meisten Fällen nur von kurr Dauer ist. Eine solche vorübergehende electrische Wirkung nn sogar schon durch ungleichzeitiges Eintauchen übrigens nz gleichartiger Metallstreifen herbeigeführt werden. (Ann. der ı. u. Pharm. B. 34. S. 241.)

388. Die Aenderungen, welche an den Oberflächen der Körper ter dem Einflusse der electrischen Kraft vorgehen, verändern ufig auch ihr chemisches Verhalten. Für die meisten Metalle B. ist Salpetersäure ein wirksames Oxydations- und Auflöngsmittel; bei mehreren derselben wird aber durch die Berühng mit Zink und die Erregung eines Stroms, der von diesem etalle durch die Flüssigkeit zum andern übergehend, an dem letzren die Ausscheidung von Wasserstoff bedingt, jene Einwirkung, langge die Berührung währt, ganz unterbrochen. So verhält sich is Eisen, das Blei, das Kupfer, das Silber u. s. w. Aus demselben unde werden Gold und Platina, durch die Berührung mit einem ectropositiveren Metalle verhindert sich in Salpeter-Salzsäure lösen. Das von H. Davy ersonnene Mittel: den Kupferbeschlag r Schiffe durch Zink vor dem Anfressen des Seewassers zu hützen, beruht eben auf diesem Principe.

Wenn einerseits die Oxydation des electronegativen Metalls ıer galvanischen Kette mit dem Beginne des Stroms aufgehalten ıd selbst ganz gehindert wird, so zeigt andererseits der electroısitive Bestandtheil ein um so mächtigeres Bestreben, den Saueroff aufzunehmen. So ist die Affinität des Zinks für sich nicht oss genug, um dem Wasser seinen Sauerstoff entziehen zu könn, denn chemisch reines Zink wird in verdünnter Schwefelsäure cht angegriffen. Die Auflösung beginnt aber sogleich, wenn es ıerhalb der Flüssigkeit mit einem electronegativeren Metalle beırt wird. Das gewöhnliche Zink des Handels ist, wie man weiss, sich schon sehr leicht löslich. Es enthält aber ziemlich viel hlenstoff und Eisen eingemengt, und diese Gemengtheile, überall sie an die Oberfläche, also zugleich mit dem Zinke und der issigkeit in Berührung treten, geben Veranlassung zu electrihen Strömen und erhöhen dadurch die Oxydirbarkeit des Zinks. s scheint dass der Nutzen des Amalgamirens wesentlich darauf ruht, dass dadurch rings um die äusserste Oberfläche der Zinkatte eine Legirung von ganz gleichförmiger Beschaffenheit ergt wird, während Kohle und Eisen, die sich mit Quecksilber cht verbinden können, entweder ganz ausgeschieden oder zuickgedrängt werden.

Hierher gehört auch der eigenthümliche Zustand chemischer thätigkeit, welchen mehrere Metalle unter gewissen Bedingunn gegen Flüssigkeiten zeigen, die sie unter gewöhnlichen Umänden zersetzen. Das Eisen z. B. wird, wie bekannt, von der

käuflichen Salpetersäure von 1,35 spec. Gewicht heftig angegriffen; zuweilen aber bemerkt man, dass diese Einwirkung ohne irgend äusseres Zuthun plötzlich unterbrochen wird und dass dann das Eisen mitten in der Flüssigkeit eine glänzende Metallfläche annimmt und beibehält. Durch wiederholtes Eintauchen und Herausnehmen aus der Säure lässt es sich sehr leicht in diesen unwirksamen Zustand überführen. Senkt man einen Eisendraht, der mittelbar oder unmittelbar mit Platin in metallischer Berührung steht, in der Weise in die Salpetersäure, dass das letztere Metall zuerst eingetaucht wird, so behält er gleich von Anfang seinen Metallglanz. Sind beide Metalle durch den Multiplicatordraht verbunden, so zeigt sich anfangs ein starker, rasch abnehmender Strom, der jedoch, nachdem ein gewisses Minimum erreicht ist, sich Tage lang unverändert erhält. Seine Richtung, vom Eisen durch die Säure zum Platin gehend, deutet auf eine langsame Zersetzung der Flüssigkeit, nämlich Oxydation des Eisens und Ausscheidung von Wasserstoff am Platin. In der That vermindert sich allmählig das Gewicht des Eisens, z. B. 5 Grm waren nach 8 Tagen um 0,42 Grm leichter geworden, und endlich, bei sehr lange Zeit fortgesetzter Einwirkung löst es sich, ungeachtet der fortdauernden Berührung mit dem Platin, vollständig auf.

Nimmt man einen solchen unthätigen Eisendraht als Ausgangspunct einer stärkeren electrischen Kette, jedoch unter Beibehaltung der früheren Richtung des Stroms, so oxydirt er sich sichtbarer, in gewöhnlicher Salpetersäure unter Entwicklung von Stickstoffoxydgas, in sehr stark verdünnter Säure unter Entwicklung von Stickstoffoxydulgas, aber niemals unter Entbindung von Sauerstoff. (Ann. d. Ch. u. Pharm. 34. 258.) Unthätiges Eisen hält sich auch in salpetersaurem Silber und schwefelsaurem Kupfer oft mehrere Stunden hindurch ganz unverändert. Wird es aber mit gewöhnlichem Eisen oder besser mit Zink berührt, oder hatte es nur einen Augenblick als negativer Pol einer Säule gedient, so dass sich Wasserstoff daran absetzen musste, so wird es sogleich wieder, wie gewöhnliches Eisen, von der Säure angefressen. Gewöhnlich reicht Abwaschen mit Wasser oder Abwischen mit Fliesspapier hin, um den Zustand der Unwirksamkeit aufzuheben. Diese Eigenschaft gehört übrigens dem Eisen nicht ausschliesslich an, Antimon, Wismuth, Zinn, Silber, Blei und selbst Kupfer verhalten sich auf ähnliche Weise. Alle diese Metalle besitzen keine sehr grosse Verwandtschaft zum Sauerstoff und die Verbindungen ihrer Oxyde mit Salpetersäure zeigen nur geringe Innigkeit. In concentrirter Salpetersäure von 1,5 spec. Gewicht erhalten sie sich sämmtlich unverändert und werden von dieser Säure wie bei der Berührung mit Sauerstoff electropositiv erregt. Die Folgerung liegt daher nahe, dass wenn durch irgend welche electrische Thätigkeit die Elemente der Salpetersäure eine Richtung erhalten,

wodurch vorzugsweise die Atome ihres electronegativen Radicals (NO_6) mit dem eingetauchten Metalle in Berührung kommen und daran haften, die so veränderte Metallfläche sich in wasserhaltiger Salpetersäure ähnlich wie in der concentrirten verhalten müsse.

Dieses Verhalten ist schon vor dem Jahre 1827 von Wetzlar beobachtet und seinen Hauptpuncten nach von ihm und später von Herschel studirt worden. Nach der Hand haben sich auch andere Physiker, insbesondere Schönbein (Pogg. Ann. Jahre 36—38.), damit beschäftigt. Letzterer hat es durch den Namen Passivität noch besonders hervorheben zu müssen geglaubt.

389. Es liegt in der Natur der Sache, dass, wenn verschiedenartige feste Körper in irgend welche zusammengesetzte Flüssigkeit eingetaucht werden, das Bestreben ihrer Oberflächen, auf die Bestandtheile dieser Flüssigkeit chemisch einzuwirken, in der Regel ungleich seyn wird. Z. B. Zink in Wasser oder verdünnte Schwefelsäure getaucht, richtet seine Anziehung vorzugsweise gegen den Sauerstoff derselben, bei dem Platin fällt eine vorherrschende Einwirkung auf den einen oder andern Bestandtheil nicht in demselben Grade auf. Das Resultat der wechselseitigen electrischen Erregung einer Flüssigkeit und eines eingesenkten einfachen Stoffes hängt wesentlich von der Art der chemischen Beziehungen des letzteren zu den verschiedenen Bestandtheilen der ersteren ab, und kann daher mit den für die Spannungsreihe geltenden Gesetzen nicht übereinstimmen. Das Zink z. B., eben weil es den Sauerstoff vorzugsweise anzieht, trachtet die Atome des Wassers in dem Sinne *H O Z* zu ordnen; mit dem in Nr. 355. S. 273 beschriebenen Condensator geprüft, erscheint es daher beim Contacte mit Wasser negativ electrisch, das Wasser positiv. Hieraus ist aber nicht zu schliessen, dass Platin, welches schon durch die Berührung mit Zink negativ wird, es nun durch die Berührung mit Wasser in noch höherem Grade werden müsse, weil wegen seiner ungleich weniger ausgeprägten Verwandtschaften nicht anzunehmen ist, dass es eine Lagerung der kleinsten Theilchen ähnlich der vorher angedeuteten, in gleichem Maasse zu entwickeln vermöge. Taucht man zwei Metalle zusammen ein und verbindet sie zur Kette, so wirkt ihre wechselseitige electrische Erregung bald fördernd, bald hemmend auf ihre natürlichen Beziehungen zu den Bestandtheilen der Flüssigkeit. Immer aber wird das eine Element der letzteren vorzugsweise von der einen Seite, das andere vorzugsweise von der andern Seite angezogen werden müssen; d. h. ein Bestreben bleibt vorwaltend, die ungleichartigen Atome in einem gewissen Sinne zu lagern, z. B. in der Platin-Zink-Wasserkette, in der Ordnung: Platin, Wasserstoff, Sauerstoff, Zink, Platin. In dem Maasse als eine solche Ordnung sich entwickeln lässt, stellt sich das gestörte Gleichgewicht wieder her, die Bewegung hört auf.

Beispiel: Man stelle ein Plattenpaar, Platin und amalgamirtes Zink, in chemisch reinem Wasser und unter Abschluss der Luft einander gegenüber; man schliesse die Kette durch den Multiplicatordraht. Der hierdurch gebildete Strom nimmt bald ab, so dass nach einiger Zeit nur noch eine Spur desselben zurückbleibt. Das Zink (weil es sich mit einer Sauerstoffhülle umgeben hat) verhält sich dann gegen anderes noch ungebrauchtes Zink wie ein electronegativeres Metall; das Platin zeigt das umgekehrte Verhalten. Befindet sich die geschlossne Kette in einem luftleeren Raume, so bemerkt man von Zeit zu Zeit das Aufsteigen eines Gasbläschens von dem Platinstreifen; an dem Zinke kommen nach längerer Zeit Spuren von weissem Zinkoxyd zum Vorschein. Es geht also eine, zwar äusserst langsame aber fortdauernde Wasserzersetzung vor sich. In gewöhnlichem Wasser, oder in verdünnter Säure verbindet sich das Zink schneller mit dem gegen seine Oberfläche gerichteten Sauerstoff; die Richtung, nach welcher die von den Metallplatten ausgehende Anziehung die Elemente der Flüssigkeit zu ordnen strebt, wird daher in dem Maasse, als sie sich entwickelt, immer wieder unterbrochen. Die Folge *ist: ein* verstärkter Strom.

Die Fortdauer des galvanisch electrischen Stromes ist also nicht nur an das Vorhandenseyn einer electromotorischen Kraft, der eigentlichen Triebfeder desselben, sondern wesentlich auch an die electrochemische Zersetzung geknüpft, weil ohne diese die einfachen Elemente der Kette sich allmählig nach einer durch ihre wechselseitige Anziehung bedingten Ordnung an einander reihen müssen, wodurch eine der anfangs vorhandnen electromotorischen Thätigkeit an Grösse gleiche, in der Richtung aber entgegengesetzte Kraft gebildet wird.

Gelingt es, den in Folge der Electrolyse an der Platinfläche ausgesonderten Wasserstoff und im allgemeinen den electropositiven Bestandtheil der Flüssigkeit, in demselben Verhältnisse als er sich absetzt, ebenfalls sogleich wieder zu entfernen, so muss die ursprüngliche electromotorische Kraft ihre anfängliche Stärke ungeschwächt beibehalten, und eben so unverändert erhält sich die Stromstärke.

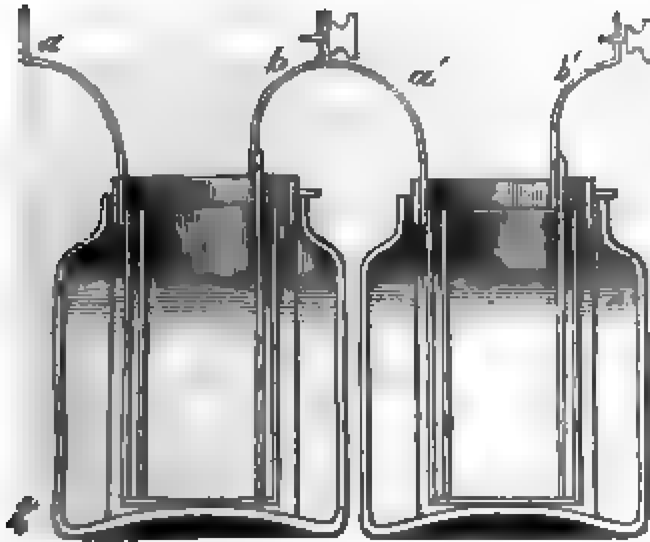
Man nähert sich dieser Bedingung durch Zusatz einer oxydirenden Substanz zu der Flüssigkeit, z. B. durch Beimischung von Salpetersäure oder durch wiederholtes Benetzen der Platinplatte mit dieser Säure.

Vollständiger erreicht man diesen Zweck durch Anwendung von zwei passend gewählten, durch eine poröse Scheidewand getrennten Flüssigkeiten. Unter vielen im Allgemeinen brauchbaren Zusammenstellungen, werden bis jetzt drei vorzugsweise angewendet, weil sie sich erfahrungsmässig als die ausgiebigsten oder bequemsten zum Gebrauche ausgewiesen haben. Man nennt

sie nach den Namen ihrer Erfinder: die Daniell'sche, Grove'sche und Bunsen'sche Kette.

390. Die Daniell'sche oder constante Kupferkette. Die Figur 156 gibt einen Durchschnitt von zwei Elementen oder Gliedern dieses electromotorischen Apparates. Bestandtheile eines einzelnen Gliedes sind: ein cylindrisches Glasgefäss, welches eine gesättigte Auflösung von Kupfervitriol enthält; hineintaucht eine cylindrisch gebogene, blank gescheuerte Kupferplatte; sie umschliesst eine ebenfalls in die Kupferlösung eingesenkte, poröse, mit verdünnter Schwefelsäure gefüllte Thonzelle, in welche wieder eine cylindrisch gebogene, amalgamirte Zinkplatte eingetaucht ist. Ein an der letzteren angelötheter Kupferstreifen b wird mit einem ähnlichen von dem Kupfercylinder des zweiten Gliedes hervorstehenden Streifen a', oder nach Befinden mit dem Kupfer des ersten Elementes selbst unmittelbar metallisch verbunden. Während die Kette einfach oder mehrgliedrig geschlossen ist, löst sich das Zink auf Kosten der Schwefelsäure; der hierdurch frei werdende Wasserstoff verbindet sich mit einer proportionalen Menge Schwefelsäure des Kupfervitriols und metallisches Kupfer scheidet sich an der Kupferplatte ab. Beide Metalloberflächen so wie die Flüssigkeiten erhalten also ihre anfängliche Beschaffenheit wesentlich unverändert und der circulirende Strom bleibt constant. Um den Ursprungszustand auch hinsichtlich der chemischen Beschaffenheit der Flüssigkeiten möglichst dauernd zu erhalten, bringt man von Zeit zu Zeit Stücke von ungelöstem Kupfervitriol in das Glasgefäss, oder setzt gleich von Anfang einen beträchtlichen Ueberschuss davon zu, der sich dann allmählig auflöst, nach Maassgabe als Kupfer metallisch ausgeschieden wird. Die dauernde Stärke des Stroms wird auch noch dadurch begünstigt, dass die von dem Kupfervitriol freigewordene Schwefelsäure durch Endosmose in die Thonzelle hinüber gezogen wird, während Kupfer- und Zinklösung durch die poröse Wand weit weniger schnell zu einander übertreten.

Fig. 156.



391. Die Grove'sche oder constante Platinkette, unterscheidet sich in der Durchschnittszeichnung nicht wesentlich von der vorhergehenden. Statt der Kupferlösung enthält das Glas Salpetersäure, je concentrirter desto besser, statt des Kupfers, Platin. Der obere Rand der Platinplatte ist an einem Kupferringe angelö-

thet, welcher mittelst drei eingelötheter Stifte auf dem Rand des Glases ruht. Alles übrige wie vorher. Der durch Auflösung des Zinks freigewordene Wasserstoff oxydirt sich sogleich wieder auf Unkosten der Salpetersäure, wodurch die Platinplatte im ursprünglichen Zustande erhalten wird, so lange noch Salpetersäure in hinlänglicher Menge vorhanden ist.

392. Die Bunsen'sche oder constante Kohlenkette unterscheidet sich von der Grove'schen nur dadurch, dass statt des Platins ein hohler Kohlencylinder in die Salpetersäure eingesenkt wird. Diese Cylinder (Fig. 157) erhält man aus einem fein gepulverten Gemenge von völlig ausgeglühten Coaks mit möglichst backenden Steinkohlen, die in Formen von Eisenblech bei mässigem Kohlenfeuer zusammengeschmolzen und geglüht werden. Die so erhaltene sehr poröse Masse wird mit concentrirter Zuckerlösung getränkt, getrocknet und bis zum starken Weissglühen erhitzt, wodurch sie eine grosse Festigkeit und electrische Leitfähigkeit gewinnt. Die genauere cylindrische Form ertheilt man ihr auf der Drehbank. Der obere Rand des Kohlencylinders, so weit er über das Glas hervorragt (etwa 1 Zoll hoch) wird in Wachs getränkt, wodurch, ohne die Leitfähigkeit bemerkbar zu schwächen, das Eindringen der Salpetersäure bis an diesen Theil der Kohle gehindert wird. Näheres über die Zubereitung dieses Materials findet man in Pogg. Ann. B. 55. 265. Während des Gebrauchs umschliesst den oberen Rand des Cylinders ein Kupferring, dessen Innenfläche durch Anziehen der Schraube *s* so stark wider die Kohle gedrückt wird, als erforderlich, um der Electricität eine genügende Anzahl Uebergangspuncte zu bieten.

Fig. 157.

393. Die drei beschriebenen electrischen Ketten haben jede ihre eigenthümlichen Vorzüge, sie unterscheiden sich von allen früher bekannten Formen der Volta'schen Säule nicht nur durch ihre ungleich grössere Wirksamkeit, sondern dadurch hauptsächlich, dass sie diese Wirksamkeit mehrere Stunden und in so fern nur schwache Ströme erfordert werden, selbst mehrere Tage hindurch mit fast unveränderlicher Stärke beibehalten können; sie machen dadurch alle früher bekannten hydroelectrischen Combinationen ganz überflüssig. Die Grove'sche und Bunsen'sche Kette zeigen unter Voraussetzung gleicher Dimensionen eine fast gleich grosse Wirksamkeit; diejenige der Daniell'schen Kette ist unter derselben Voraussetzung beträchtlich geringer. Dagegen empfiehlt sich die Kupferkette durch ihre völlige Geruchlosigkeit während des Gebrauchs sehr vortheilhaft vor den beiden andern, welche, nachdem sie einige Zeit im Gange waren, salpetrige Säure in grosser Menge aushauchen. Da sich diese Säure aus der porösen Kohle nicht leicht entfernen lässt, so erfordert die Aufbewahrung nach dem

brauche ein besonderes von anderen physikalischen Apparaten renntes Local*). Uebrigens eignet sich die Kohlenkette durch e grosse Wirksamkeit bei geringem Geldwerthe vorzugsweise grösseren galvanischen Batterien.

Neuerdings hat Wheatstone (Pogg. Ann. B. 62. 511.) eine änderung der Daniell'schen Kette empfohlen. Er lässt nämı die verdünnte Schwefelsäure ganz weg und füllt die poröse zellanzelle mit flüssigem Zinkamalgam, in welches das Kupferle des nächstfolgenden Elementes eintaucht. Diese Kette, mit em langen Multiplicatordrahte, im Allgemeinen nach Einschalg grosser Leitungswiderstände, geprüft, zeigt sich sehr connt; sie ist aber unbrauchbar zur Hervorbringung starker und gleich constanter Ströme.

Die Erfindung der constanten electrischen Kette muss man equerel zuschreiben, weil es ihm zuerst gelungen ist, durch wendung von zwei durch eine poröse Wand getrennten Flüskeiten die Polarisation der eingetauchten Metallplatten zu veriden. Bei einer von ihm beschriebenen Kette befanden sich Salersäure und Aetzkali in zweien durch porösen Thon getrennten llen; in jede dieser Flüssigkeiten tauchte ein Platinstreifen, die ide je nach Erforderniss durch den Multiplicatordraht oder andereitig verbunden wurden. Die Triebkraft dieses galvanischen pparates ist zusammengesetzt aus der Summe der electromotoschen Thätigkeiten an den Uebergangsflächen: des Platins zum ali, des Kalis zur Säure, der Säure zum Platin, welche sämmtlich gleichem Sinne wirksam sind. Diese Kette zeigt das Charakteıtische, dass sich an dem ins Kali eingetauchten Platin Sauerıff entwickelt, während der davon abgeschiedene Wasserstoff f Kosten der Salpetersäure sogleich wieder oxydirt wird; sie det also gleichsam das Umgekehrte der Platin-Zink-Säurette, in welcher sich der Wasserstoff des zersetzten Wassers sförmig entwickelt, dagegen der Sauerstoff durch Oxydation des ıks weggeschafft wird. Wie nun hier durch den Wasserstoff, so ird bei der Becquerel'schen Kette durch den Sauerstoff eine larisation, und folglich eine Abnahme der Stromkraft herbeigehrt. — Die Verbindung beider Systeme, nämlich Vertauschung s in das Kali eingesenkten Platins mit Zink lag nahe, und so ım man zu einem Apparate bei welchem die Polarisation ganz egfiel.

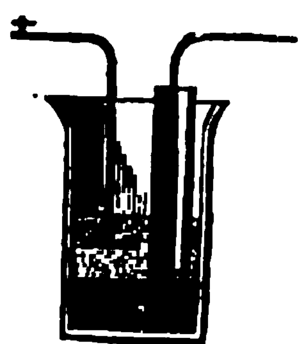
Man hat lange Zeit gestritten, ob in galvanischen Ketten, gebildet aus einem Metalle und zwei Flüssigkeiten, der Sitz der ectrischen Kraft an der Berührungsfläche beider Flüssigkeiten

*) Wer ein Bunsen'sches Element nicht ununterbrochen anwendet, thut am sten, den Kupferring nach dem Gebrauche jedesmal von dem Kohlencylinder lösen, letzteren aber bis zur völligen Ausziehung der Säure in einen Kübel t Wasser zu setzen.

oder nicht vielmehr an denjenigen des Metalls mit den flüssigen Körpern zu suchen sey. Gegenwärtig ist es ausser Zweifel gestellt, dass, ganz so wie schon Volta behauptet hat, die Anregung zu einem electrischen Strome an den Berührungspuncten zweier beliebigen ungleichartigen, jedoch die Electricität leitenden Körpern entsteht, mögen nun beide fest oder beide flüssig, oder nur der eine fest, der andere flüssig seyn. Durch Combination von drei Flüssigkeiten, indem man z. B. Filz- oder Pappscheiben damit befeuchtet, lassen sich sogar mehrfach zusammengesetzte Ketten bilden, deren Kraft ähnlich derjenigen der Volta'schen Säule mit der Anzahl der Paare zunimmt und mit Hülfe des gewöhnlichen Condensators gemessen werden kann. (Ann. d. Ch. u. Pharm. 35. 1.) Wie man das Daseyn einer electrischen Thätigkeit bei Berührung eines festen mit einem flüssigen Körper unabhängig von jedem fremden Einflusse prüfen könne, ist schon früher (355) gezeigt worden.

394. Die constanten electrischen Ketten bieten das wirksamste Hülfsmittel zur Hervorbringung electrochemischer Zersetzungen. Zur Wasserzersetzung in verdünnter Schwefelsäure genügt schon eine Kette gebildet aus drei Platin- oder aus drei Kohlenelementen. Um mit einer constanten Kupferkette eben so weit zu reichen, muss sie wenigstens aus sechs Gliedern bestehen. Aetzendes Kali oder Natron, geschmolzen oder im Zustande sehr concentrirter Lösungen, zersetzen sich gleichzeitig mit ihrem Wassergehalte unter der Einwirkung einer Batterie von 8 — 12 Kohlenelementen. Das gebildete alkalische Metall verbrennt aber gewöhnlich gleich wieder, so dass es schwierig ist, auch nur kleine Mengen davon aufzusammeln. Weit leichter lässt es sich im Zustande als Amalgam gewinnen. Man giesst zu dem Ende Quecksilber auf den Boden eines Glases, so dass die untere Mündung eines darin stehenden offnen Glasrohrs (Fig. 158) wenigstens einige Linien hoch damit überdeckt ist, und darüber die concentrirte alkalische Lösung. Ein von dem negativen Pol ausgehender Platindraht wird durch das Rohr in das Quecksilber eingeführt, und ein ähnlicher Ausläufer des positiven Pols der Batterie mit der Oberfläche der Lösung in Berührung gesetzt. Die Zersetzung geht sogleich vor sich, wodurch das Kalium von dem Quecksilber unter beträchtlicher Erhöhung der Temperatur aufgenommen wird und damit eine beim Erkalten erstarrende Masse bildet.

Fig. 158.



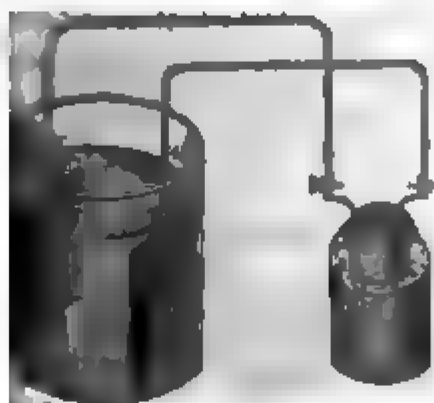
In den wässrigen Lösungen der Alkalien und alkalischen Salze, wenn man sie in die Zersetzungszelle bringt, findet zwar eine ähnliche Zerlegung statt, nämlich Sauerstoff oder ein anderes einfaches oder zusammengesetztes Radical wird an dem positiven Pole, das alkalische Metall an dem negativen Pole ausgeschieden;

allein wegen der Leichtigkeit, womit sich diese Metalle auf Kosten des Wassers oxydiren, tritt die Zersetzung desselben sogleich ein, dergestalt dass Sauerstoff und Wasserstoff entbunden wird und es zugleich den Anschein hat, als ob das Salz in Säure und Alkali wäre zerlegt worden.

Diejenigen Metalle, deren Verwandtschaft zu dem Sauerstoff des Wassers weniger mächtig ist, wie Zink, Blei, Kupfer, Silber und andere mehr, werden aus ihren Lösungen regulinisch ausgefällt. Wenn diese Ausscheidung nicht zu rasch und ohne gleichzeitige Wasserstoffentwicklung vor sich geht, so überzieht sich die negative Polplatte mit einer ganz gleichförmigen, zusammenhängenden Decke des ausgefällten Metalls.

395. Die Galvanoplastik ist eine eben so bemerkenswerthe als nützliche Anwendung dieser Erfahrung. Man versteht unter Galvanoplastik ein von Jacobi in Petersburg und, wie es scheint, gleichzeitig auch von Spencer in Liverpool entdecktes Verfahren: Gegenstände von beliebiger Gestalt, auf galvanischem Wege in Kupfer abzudrücken. Dieses Verfahren in seiner einfachsten Form ist eine unmittelbare Anwendung der Daniell'schen Kette, in welcher die Kupferplatte durch den Gegenstand ersetzt wird, von welchem man einen Abdruck zu erhalten wünscht, und dessen Oberfläche, so weit sie sich mit Kupfer bedecken soll, leitend seyn muss. Der Gegenstand in der Lösung des Kupfervitriols ganz untergetaucht, ist vermittelst eines Kupferdrahts mit dem amalgamirten Zink in der porösen Zelle verbunden. Die Flüssigkeit in der lezteren besteht aus Wasser mit Zusatz von wenigen Tropfen Schwefelsäure. Es geht eine langsame Zersetzung vor sich, wobei sich der eingetauchte Gegenstand, so weit seine Oberfläche leitend ist, mit Kupfer beschlägt. Ist die Kupferdecke dick und fest genug geworden, so dass sie sich ohne den Zusammenhang zu verlieren von dem Körper ablösen lässt, so zeigt sie sich als ein sehr genauer Abdruck von der Gestalt desselben. Dieser Versuch gelingt jedoch nur unter der Einwirkung eines schwachen Stromes, und wenn die Kupferlösung durch Zusatz von Kupfervitriolkrystallen fortwährend gesättigt erhalten wird. Bei zu rasch fortschreitender Zersetzung zeigt sich der Kupferniederschlag körnig und ohne Zusammenhang. — Eine Abänderung dieses ursprünglichen Verfahrens, von dem Entdecker selbst empfohlen, verbindet mit grösserer Bequemlichkeit eine grössere Sicherheit des Gelingens. In einem Glasgefässe *A* Fig. 159 befindet sich die Kupferlösung mit etwas Schwefelsäure gemischt. Der abzubildenden Form *f*, welche in diese Flüssigkeit taucht, steht eine Kupferplatte *k* gegenüber; beide

Fig. 159.



durch gefirnisste Kupferdrähte mit den Endpuncten eines Daniell'schen Elementes verbunden, und zwar *f* mit dem negativen, *k* mit dem positiven Pole. Bei dieser Anordnung nun reducirt sich Kupfer auf der leitenden Oberfläche der Form, während ein entsprechender Theil des Kupfers der Platte oxydirt und aufgelöst wird. Die Lösung bleibt also stets in demselben Zustande der Sättigung.

Gegenstände von Metall, die man auf galvanischem Wege nachzubilden wünscht, müssen vor dem Eintauchen in die Kupferlösung an den Stellen, welche frei von Kupfer bleiben sollen, mit Wachs bedeckt werden. Körper, die für sich nicht leitend sind, z. B. Wachs- oder Stearin-Abdrücke, werden dadurch leitend gemacht, dass man fein geschlemmten Graphit oder ein sehr feines Metallpulver trocken aufträgt und mittelst eines zarten Pinsels so lange einreibt, bis die ganze Oberfläche gleichförmig damit überdeckt erscheint. Gypsformen lassen sich auch brauchen, nur müssen sie, bevor man den Graphit darauf ausbreitet, mit Wachs getränkt werden. Es ist übrigens einleuchtend, dass jeder von einem Originalgegenstande unmittelbar erhaltene, wohlgelungene Kupferabdruck für eine neue Operation wieder als Form dienen kann und dass der auf diese Weise erhaltene zweite Abdruck in seiner ganzen Oberflächenbeschaffenheit dem Originale vollkommen gleichen muss. Um das Anhängen des galvanischen Kupfers an einer Metallplatte zu verhüten, wird letztere vor Anstellung des Versuchs mit Olivenöl eingerieben und dieses wiederum mit weichem Fliesspapier und Bürste entfernt.

Auf galvanischem Wege hat man nicht nur Siegelabdrücke, Denkmünzen, Holzschnitte, Figuren in halberhabener Arbeit und selbst ganze Gestalten nachgebildet, sondern es ist auch gelungen, gestochene Kupferplatten so treu wiederzugeben, dass die davon erhaltenen Abdrücke von den von der Originalkupferplatte erhaltenen sich nicht unterscheiden liessen. Jetzt hat man auch angefangen grössere in Gyps ausgeführte Modelle auf galvanischem Wege in Kupfer abzuformen.

Ein empfehlenswerthes Schriftchen für Freunde dieses Verfahrens ist: die Galvanoplastik von Fardely.

An die Galvanoplastik reihen sich die in der neuesten Zeit mit dem besten Erfolge angewendeten Methoden, Metalle, insbesondere Kupfer und Messing, auf nassem Wege zu vergolden und zu versilbern, und im Allgemeinen ein Metall mit einem andern zu überziehen. (Zu vergl. Pogg. Ann. 55. 162.)

396. Die chemischen Wirkungen der Volta'schen Säule sind bald nach der Erfindung derselben, die im Jahre 1800 bekannt wurde, fast gleichzeitig von mehreren Physikern beobachtet worden. Sie sind seitdem unausgesetzt ein Gegenstand der emsigsten Studien geblieben. Die Zersetzung des Wassers wurde in England

von Carlisle, in Deutschland von Ritter bemerkt. Im
307 gelang es H. Davy mit Hülfe kräftiger Säulen die Zer-
eit der Alkalien zu beweisen. Die Batterie, welche er dazu
hte, bestand aus 150—200 Zink-Kupferpaaren mit ver-
Schwefelsäure geladen. Solche grosse Säulen, früherhin
im Gebrauche, charakterisiren sich durch ihre kräftigen
gischen Wirkungen. Zum Zwecke electrolytischer Unter-
en stehen sie aber einer Bunsen'schen constanten Kette
-20 Paaren weit nach.

ntspann sich unter den Naturforschern ein sehr lebhaft ge-
treit über die eigentliche Bedeutung des chemischen Pro-
n der geschlossenen Kette. Die Einen, an der Volta'schen
(360) festhaltend, bemühten sich den Beweis zu führen,
chemischen, gleich den physiologischen Erscheinungen
ungen des Stromes seyen, Andere glaubten in der Oxyda-
Zinks die wahre Quelle der galvanischen Electricität ge-
zu haben. Diese Ansicht, die Oxydationstheorie, ist am
hsten und noch in der neuesten Zeit, wiewohl mit abneh-
Glücke, von de la Rive vertheidigt worden.

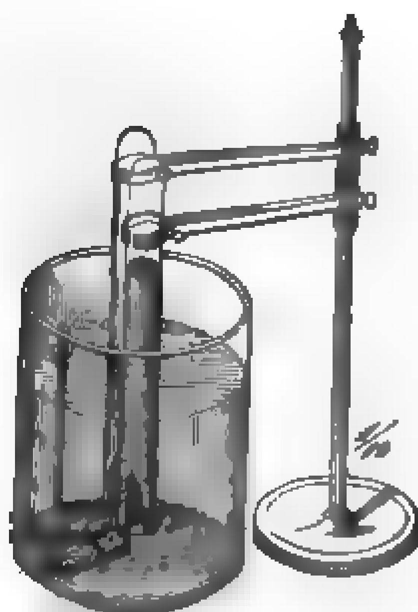
)xydationsprocess in der geschlossenen Kette ist immer
r Zersetzung des flüssigen Leiters begleitet, und die Stärke
mes ist augenscheinlich an die Lebhaftigkeit dieser Zer-
geknüpft. Hierdurch wurde Davy zu dem Gedanken ge-
n dem Zersetzungsprocesse die Ursache der Fortdauer des
zu suchen, während er übrigens mit Volta die Berüh-
er vielmehr ein Streben zur chemischen Verbindung, wel-
Augenblicke der Berührung geweckt wird, als Ursache
rischen Erregung und des Vertheilungszustandes betrach-
scheinbar abweichend von dieser Vorstellungsweise ist
ere von Faraday aufgestellte chemisch electrische Theo-
geht von der Ansicht aus, dass electrische Anziehung
mische Affinität im Grunde nur verschiedene Ausdrücke
lbe Sache seyen. Wirkt z. B. Zink zersetzend auf das
so kann man diess mit gleichem Rechte eine chemische
it oder auch eine electrische Thätigkeit nennen; dabei
Sauerstoff angezogen; der Wasserstoff seinerseits wirkt
nd auf das benachbarte Element des Wassers und sofort
der Weise, wie es dem Wesen der Electricität entspricht.
die von dem Zink ausgehende Wirksamkeit in bestimmter
: durch die Flüssigkeit fortgepflanzt und selbst auf feste
Berührung stehende Leiter übertragen werden. Nach die-
)these erscheint also die beginnende Zersetzung einer
ı Verbindung als eine Quelle von Electricität. Der electri-
m ist aber das Fortschreiten dieser Zersetzung nach einer
len Richtung. Faraday erkennt übrigens an, dass das
die Flüssigkeit in welche es getaucht wird, noch vor der

Zersetzung eine gewisse Wirksamkeit äussere, welche nichts Anderes sey als das Streben, Zersetzung herbeizuführen; ohne dieselbe gerade immer zur nothwendigen Folge haben zu müssen. — Wollen wir nun dieses Streben auf seinen letzten Grund zurückführen, so ist es nichts Anderes als die Anziehung des Zinks zum Sauerstoffe des Wassers; oder wie sich einige Chemiker ausdrücken, ein polarer Zustand der Verwandtschaft. Eine sichtbare Aeusserung desselben bevor noch ein Fortschreiten der Zersetzung möglich geworden, ist der electrische Vertheilungszustand, ganz so wie er überhaupt bei der Berührung ungleichartiger Stoffe gefunden wird.

Die Faraday'sche Theorie consequent verfolgt, betrachtet also den electrischen Vertheilungszustand, die electrische Differenz, in der offnen Säule unabhängig von dem Acte der Zersetzung; sie identificirt aber diesen Zustand mit dem einer chemischen Polarität und sucht hierdurch begreiflich zu machen, dass ohne den Eintritt der chemischen Zersetzung kein Strom entstehen noch fortdauern kann. Sie ergänzt in so fern die Volta'sche Theorie, welche von dem Daseyn des electrischen Stromes gar keine Kenntniss nimmt.

397. Volta-Electrometer (Voltameter). Um das Gesetz der Abhängigkeit electrischer Ströme von der chemischen Zersetzung gründlich studiren zu können, bedurfte es eines geeigneten Maasses. Faraday (Pogg. Ann. 33. 316) benutzte hierzu die Wasserzersetzung, indem er zwei Platinplatten, an welchen sich der electrolytische Sauerstoff und Wasserstoff entwickeln sollte, unter graduirte Glasröhren brachte, so dass beide Gase vollständig, entweder zusammen oder getrennt aufgefangen und gemessen werden konnten. Die geeignete Geräthschaft erhielt den Namen Voltameter. Unter verschiedenen Einrichtungen, welche dem Voltameter gegeben werden können, erscheint die folgende durch Zweckmässigkeit und Bequemlichkeit besonders empfehlenswerth.

Fig. 160.



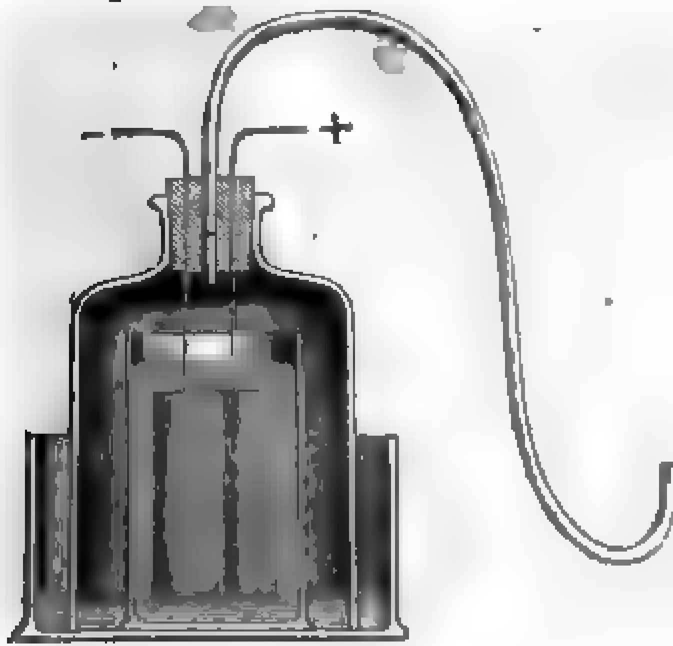
Die beiden Platinplatten befinden sich in dem zur Aufnahme der Zersetzungsflüssigkeit bestimmten Behälter einander gegenüber; sie sind an dicken Platindrähten angelöthet, die, so wie die Figur 160 zeigt, in Glasröhren von wenigstens 2 Linien innerer Weite eine kleine Strecke luftdicht eingekittet sind. Der übrige Theil der, wie man sieht, rechtwinklig aufwärts gebognen Röhren ist mit Quecksilber gefüllt und dadurch die leitende Verbindung nach Aussen bewerkstelligt. Zur Erhaltung eines festen Standes sind ausserdem beide Glasröhren mittelst Kupfer-

:ähten mehrfach verbunden. In das Quecksilber des einen Rohrs
'ird das positive Ende, in das Quecksilber des andern Rohrs das
:gative Ende der Batterie eingesenkt und dadurch die Kette ge-
:hlossen. Sollen die sich entwickelnden Gase in dem Messge-
sse gemengt aufgefangen werden, so braucht der Abstand der
atten nur wenige Linien zu betragen. Um aber beide Gase ge-
ennt auffangen zu können, müssen die Platten weit genug von
nander abstehen, um über jede ein besonderes Messrohr setzen
ı können. Bei der letzteren Anordnug hat der electrische Strom
nen vergrösserten Weg durch die Flüssigkeit zurückzulegen;
:r Leitungswiderstand vermehrt sich daher. Die hierdurch be-
irkte Verminderung der Wasserzersetzung ist gleichwohl, vor-
ısgesetzt dass der untere Rand eines jeden Messrohrs wenigstens
n die Hälfte seines Durchmessers vom Gefässboden absteht, so
edeutend nicht als der erste Anschein könnte vermuthen lassen.
ei Anwendung einer Kohlenbatterie von 4 Elementen erhielt man
. *B.* Gasmengen im Verhältnisse von 1 : 1¼, je nachdem beide Gase
etrennt oder zusammen aufgefangen wurden. Die Weite der Mess-
ihren betrug 28 Mllmtr., die Länge der eingetauchten Platinplat-
:n 75 mm, ihre Breite 27 mm. In Fällen wo eine möglichste Be-
eitigung dieses Verlustes wünschenswerth seyn sollte, kann man
ach Poggendorff's Vorschlag die Platinstreifen mit Cylindern
'on porösem Thon umgeben, an deren oberem Rande dann die
Messröhren angeschlossen werden.

Als Zersetzungsflüssigkeit wählt man am besten reine Schwe-
'elsäure von 1,3 spec. Gewichte; weil bei diesem Concentrations-
grade der Säure eine Umfangsvermehrung der aufgesammelten
Gase durch Beimengung von Wasserdämpfen, bei keiner der
gewöhnlich vorkommenden Temperaturen zu befürchten ist. Auch
st man bei einem grösseren Wassergehalte des Säuregemisches
veniger sicher, allen durch die Electrolyse frei gewordenen Was-
serstoff zu gewinnen. Ein Verlust an Wasserstoff kann auch
durch Beimengung oxydirender Substanzen, z. B. von Salpetersäure
oder deren Salzen, herbeigeführt werden. Befinden sich Chlorver-
bindungen in der Flüssigkeit aufgelöst, so nehmen diese an der
Zersetzung Theil und man bemerkt eine Abnahme der Sauerstoff-
entwicklung. Alkalien und alkalische Salze der Electrolyse unter-
worfen, liefern Sauerstoff und Wasserstoff gleich wie die Schwe-
felsäure im Verhältnisse von 1 : 2, ihre Auflösungen können dess-
halb ebenfalls als voltametrische Flüssigkeiten benutzt werden;
doch leiten sie die Electricität weniger gut als die Säure.

Die Figur 161 zeigt einen electrischen Gasentbindungsapparat,
an welchem ätzendes Kali (1 Theil trocknes Kali mit 9 Theilen
Wasser) mit Vortheil verwendet werden kann, wenn man als Zer-
setzungsplatten möglichst grosse Stücke Eisenblech wählt. Das
Eisen hat nämlich die Eigenschaft in ätzender Lauge vom Sauerstoff

Fig. 161.



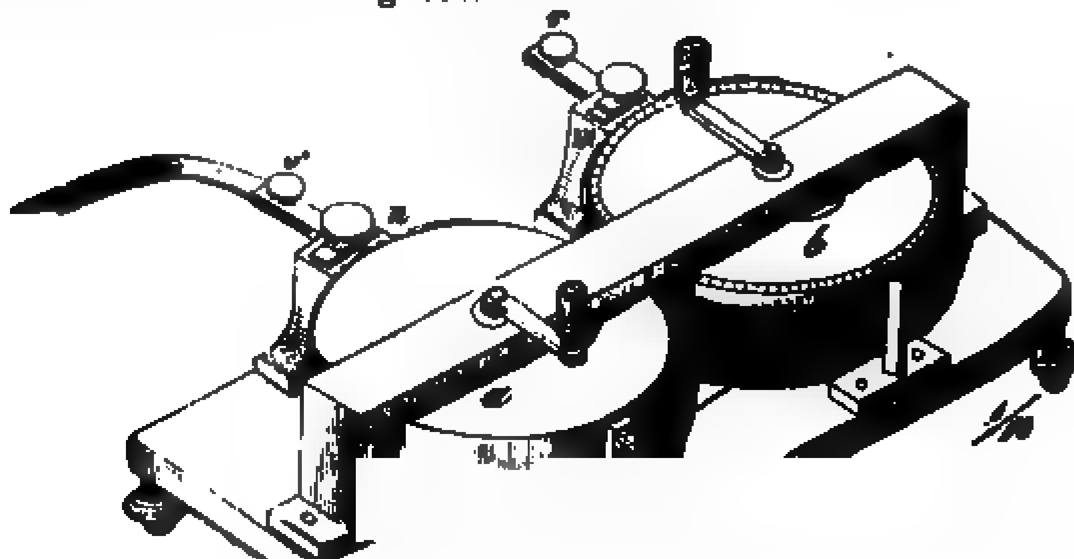
fast gar nicht angegriffen zu werden, so dass man bei dieser Anordnung wie mit Platinplatten beide Gase zugleich erhält.

Zum Zwecke feinerer Maassbestimmungen ist jedoch Eisen in Aetzkali nicht brauchbar, indem dabei nicht nur Sauerstoff, sondern auch Wasserstoff in sehr veränderlicher Menge (je nachdem sich das Eisen vor dem Gebrauche mehr oder weniger mit Oxyd bedeckt hatte) verloren wird.

398. Der Strom-Regulator (Rheostat, Voltagometer). Wenn man den electrischen Strom zugleich durch die Flüssigkeit eines Voltameters und den Draht eines Galvanometers gehen lässt, bemerkt man gewöhnlich, dass die Nadel des letzteren ihre anfänglich erhaltene feste Stellung auf die Dauer selbst dann nicht unveränderlich beibehält, wenn die bewegte Electricität einer constanten Batterie entspringt. Mit Hülfe des Strom-Regulators, einer von Wheatstone ersonnenen Geräthschaft, gelingt es diese Unregelmässigkeit auszugleichen, d. h. einen lange Zeit anhaltenden Zersetzungs-Strom von vollkommener Beständigkeit zu schaffen. Es ist hierdurch möglich geworden, die magnetische mit der zersetzenden Kraft der Electricität aufs genaueste zu vergleichen.

Figur 162 gibt die Ansicht eines für die Feststellung starker

Fig. 162.



ectrischer Ströme berechneten Regulators. Zwei Rollen von
stem Holze, jede $^3/_4$ Metre im Umfang haltend, sind um lothrecht
hende Axen drehbar. In die Cylinderfläche der Rolle *b* sind
hraubenwindungen eingeschnitten, weit genug um einen Argen-
ıdraht von 1,5 Millimetre Dicke aufnehmen zu können, dessen
de in einen den oberen Rand der Rolle umgebenden, 12 Milli-
tre hohen Messingring eingelassen ist. Das andere Ende dieses
ahtes hängt am unteren Rande der Rolle *a*, deren ganze Cylin-
rfläche mit Messingblech bedeckt und glatt ist. Vermittelst der
lernden, 12 Millimetre breiten Kupferstreifen *n* und *m*, die gegen
Messingringe der Rollen gedrückt werden, und der Klemm-
ırauben *r* und *s* kann die Verbindung mit beiden Polen eines
ıctrometers hergestellt und dadurch die Kette geschlossen wer-
ı. Der Strom gelangt nun z. B. von der Messinghülle der Rolle
ınmittelbar zu dem Drahtstücke, welches zu der andern Rolle
erführt, muss dann alle auf *b* bereits aufgewickelten Drahtwin-
ıgen durchdringen, weil diese seitwärts in keiner leitenden Ver-
dung stehen, und kommt so endlich zu dem Messingringe der
lle *b* und der Feder *m*. Der Weg den er zu beschreiben, der Wi-
stand den er zu überwinden hat, vermehrt sich daher oder ver-
ndert sich, je nachdem man Draht auf der Rolle *b* aufwickelt
er davon abwickelt. Man hat es also ganz in der Gewalt, durch
ıschaltung verhältnissmässiger Drahtlängen die Stromstärke be-
big zu verändern oder auch eine etwaige Veränderlichkeit der
iebkraft so zu reguliren, dass eine bestimmte Stärke des Stromes
stgehalten wird. Argentandraht empfiehlt sich zu dieser Geräth-
haft desshalb vorzugsweise, weil er als sehr schlechter Leiter
ı sehr wirksames Hülfsmittel bietet, die Grösse des Leitungswi-
rstandes einer Kette schnell zu verändern. Die übrigen Bestand-
ile des Regulators (ausser dem Argentandraht) sind sämmtlich
solchen Dimensionen gewählt, dass sie für sich keinen bemerk-
ren Leitungswiderstand verursachen. Der Umfang der Schrau-
ırolle ist in 100 gleiche Theile getheilt, so dass man mittelst des
sten Zeigers bei *b* leicht entdeckt, wie viele Unterabtheilungen
ıer Drahtwindung zugesetzt oder weggenommen sind. Die An-
ıhl ganzer Umwindungen zählt man an dem Maassstab *c*.

399. Die electrolytischen Gesetze. Durch die genaue
rgleichung der auf galvanischem Wege bewirkten Wasserzer-
tzung mit der unter dem Einflusse desselben Stromes erhaltenen
lenkung der Galvanometer-Nadel hat man erkannt: dass die
hemische Wirksamkeit der Kette gleichen Schritt
ält mit ihrer magnetischen Wirksamkeit. War z. B.
s dem Strom eingeschaltete Galvanometer eine Tangentenbus-
le, so findet man, dass die Tangente des Ablenkungswinkels
ıltiplicirt mit der Wirkungszeit einen Werth gibt, der sich verhält
e die Menge des in derselben Zeit im Zersetzungsapparate ent-
ckelten Gases.

War also die magnetische mit der chemischen Kraft des Stromes nur ein einzigesmal recht genau verglichen worden, so gibt für eine beliebige andere beständig erhaltene Ablenkung φ der Ausdruck $a. t.$ tng φ ein genaues Maass der Gasmenge, welche bei dieser Stromkraft während der Zeit t geliefert werden kann. Die Grösse a, nämlich die in der Zeiteinheit und unter dem Einflusse der Kraft 1 (1 = tng 45°) gesammelte Gasmenge, ändert sich mit dem galvanometrischen Instrumente, das bei den Versuchen benutzt wird. Sie muss für ein jedes besonders ermittelt werden. Z. B. bei der in N. 370 beschriebenen Tangentenbussole, deren Reif 401,3 metre im Durchmesser hält, entspricht die Ablenkung von 45°, einer Wasserstoffmenge von 42,16 C. C. (bei 0° und 336,9‴ Pressung) in der Minute. Es ist demnach auf die Sekunde berechnet: $a = 0{,}7027$, also für dieses Instrument die einer Ablenkung φ gleichwerthige Wasserstoffmenge: $V = 0{,}7027\ t.$ tng φ.

Das Voltameter bietet auf diese Weise ein Hülfsmittel, die Anzeigen verschiedener Galvanometer unter einander zu vergleichen und auf ein gemeinschaftliches Grundmaass zurückzuführen. Als ein solches Grundmaass könnte diejenige Electricitätsmenge gelten, die erfordert wird, um ein Volum Wasserstoff zu entbinden, oder um die Gewichtseinheit Wasser zu zersetzen, oder endlich auch um das chemische Aequivalent des Wassers, nämlich 1,1248 Grm, in seine Bestandtheile zu zerlegen.

Will man die zuletzt genannte Grundlage beibehalten und berücksichtigt man, dass die Menge Wasserstoffgas, die bei 0° und 336,9‴ Pressung aus 1,1248 Grm Wasser erzielt werden kann, beträgt: $V = \frac{1{,}1248 \,.\, 1000}{9 \,.\, 0{,}08938} = 1396{,}25$ C. C., so gelangt man für die Tangentenbussole im Allgemeinen zu der Gleichung: $1396{,}25 = a\,t$ tng φ; woraus sich z. B. für das vorhererwähnte besondere Instrument ableiten lässt: $t = \frac{10000}{5{,}0255 \text{ tng } \varphi}$, als Zeit während deren Verlauf bei einer gewissen Ablenkung φ ein Aequivalent Wasser zersetzt wird, oder ein Aequivalent Electricität (das angenommene Grundmaass) durch jeden Querschnitt des Leiters strömt.

Bei irgend einem andern Galvanometer, dessen Anzeigen ebenfalls unter einander vergleichbar sind, wird derselben Zeit t vielleicht ein anderer Ablenkungsbogen φ' entsprechen; es ist dann einleuchtend, dass die Ablenkung φ des einen und die Ablenkung φ' des anderen Instrumentes einerlei Stromstärke anzeigen. Man ist also jetzt im Stande, die Angaben des einen auf die des andern zurückzuführen und zwar ganz unabhängig vom Orte und von der Zeit der Beobachtung.

Hat man die Vergleichung eines Galvanometers mit dem Volta-

al mit aller Sorgfalt ausgeführt, so ist der Gebrauch des
m die zersetzende Kraft einer electrischen Kette zu
i wenigstens gleicher Sicherheit ungleich bequemer als
tzteren und daher in den meisten Fällen vorzuziehen.
:ehrte, nämlich die Beurtheilung der magnetischen Kraft
ns aus der Wasserzersetzung, ist nur selten ausführ-
oei schwachen Strömen die Gasentbindung nicht aus-
ng ist und weil durch Einschaltung des Voltameters die
handene Stromstärke allemal vermindert wird.
i unbeständigen Strömen bleibt die Wasserzersetzung
e sichere Mittel, um die innerhalb einer gewissen Zeit
ng gesetzte Electricität ihrer Gesammtmenge nach ken-
ıen.
.e Menge zersetzten Wassers zeigt sich ganz gleich,
· Stelle einer constanten Kette man das Voltameter ein-
haben mag. Nöthigt man den Strom durch die Flüssig-
ırerer Voltameter zu wandern, mögen diese nun unmit-
in Zwischenräumen auf einander folgen, so wird zwar
:inen durch jeden neu hinzugefügten Zersetzungsappa-
.ntität der in jedem einzelnen stattfindenden Zersetzung
. Tritt aber überhaupt noch eine bemerkbare Gasent-
n, so ist sie gleich gross in allen Messröhren. Dieses
ibt wahr, ob die Zersetzungsstellen gleiche oder ver-
Oberflächen bieten, ob es nur Drähte oder ob es Platten,
.eren eben oder gebogen sind, ob sie parallel oder nicht
ıander gegenüberstehen, ob sie die Richtung des Stroms
ıt oder schief durchschneiden, ob endlich die zwischen
:hen befindliche flüssige Schicht eine grössere oder eine
Dicke besitzt. Die zersetzende Kraft des Stroms hat
das mit seiner magnetischen Kraft gemein, dass sie in
ın durch die Kette geführten Querschnitte eine gleiche
sitzt. Man kann das Voltameter sehr leicht in einen
lig wirksamen electrischen Apparat, d. h. in eine Erzeu-
ı oder in einen Electromotor verwandeln, wenn man die
r Platinplatten mit einer amalgamirten Zinkplatte ver-
üllt man mehrere solcher Apparate mit derselben Flüs-
B. mit verdünnter Schwefelsäure, so werden sie, jeder
ıschlossen, je nach der Grösse und dem Abstande der
gleiche Mengen von Wasserstoff an den Platinplatten
Verbindet man sie aber zu einer mehrgliedrigen Kette,
vinden diese Ungleichheiten und jede Zelle liefert gleich
Wird eine für sich unwirksame Zelle, ein Voltameter, in
ildete Batterie eingeschlossen, so entwickelt sich darin,
ie Kette geschlossen bleibt, eben so viel Gas wie in je-
..Zelle.
at man die verschiedenen Zellen einer Batterie, sey sie

constant oder inconstant mit ein und derselben oder auch mit verschiedenen Flüssigkeiten gefüllt, jedoch sämmtlich von der Beschaffenheit, dass während des Ruhezustandes die Zinkplatten nicht angegriffen werden können, z. B. mit verdünnter Schwefelsäure (100 Grm Wasser auf 2,25 concentrirte Säure) oder mit schwefelsaurem Kali, oder wenn es eine constante Batterie ist, am besten mit schwefelsaurem Zink, so verliert während des Gebrauchs jede Zinkplatte genau gleich viel von ihrem Gewichte und dieser Zinkverbrauch in jeder Zelle ist chemisch-proportional (ein Aequivalent) dem in dem Voltameter in gleicher Zeit entwickelten Wasserstoffe.

Wird der electrische Strom durch das Voltameter und zugleich noch durch eine andere Zersetzungszelle geführt, die eine concentrirte Metallauflösung enthält; z. B. Zinkvitriol, oder Chlorzink, oder schwefelsaures Kupfer, oder salpetersaures Silber u. s. w., so entsteht an der electronegativen Seite der Zelle ein Niederschlag dieses Metalls. Vorausgesetzt nun, dass die gewählte Auflösung rein war und dass mit der Metallausfällung nicht zugleich Wasserzersetzung eintrat, so verhält sich die Gewichtsmenge des ausgeschiedenen Metalls zur Gewichtsmenge des im Voltameter entbundenen Wasserstoffs, wie das chemische Aequivalent des einen zu dem des andern dieser Stoffe. Hatte sich aber an der Zersetzungsstelle eines dieser Metalle zugleich Wasserstoff entwickelt und war derselbe aufgefangen und gemessen worden, so findet man, dass die gleichzeitig ausgefällte Metallmenge dem Unterschiede der im Voltameter und in der andern Zersetzungszelle entbundenen Wasserstoffmenge äquivalent ist. Wasserfreie Verbindungen im geschmolzenen Zustande, wie Chlorzinn, Chlorblei oder salpetersaures Silber in den Kreislauf des Stroms gebracht, werden gerade so wie wässrige Lösungen und nach demselben quantitativen Verhältnisse zerlegt. Im Allgemeinen also wird diejenige Electricitätsmenge, welche die Electrolyse von 1 Aequivalent Wasser zu bewirken vermag, in jeder andern binär zusammengesetzten flüssigen Verbindung welche sie durchdringen kann, gleichfalls ein Aequivalent derselben zersetzen; oder anders ausgedrückt: die durch ein und denselben electrischen Strom zerlegten Gewichtsmengen binärer Verbindungen (die electrochemischen Aequivalente) verhalten sich wie die chemischen Aequivalente.

Die allgemeine Gültigkeit dieses merkwürdigen zuerst von Faraday dargethanen Gesetzes liefert zugleich den kräftigsten Beweis, dass ein durch den Strom zersetzbarer Leiter nur so viel Electricität durchlassen kann, als dem Quantum seiner Zersetzung entspricht.

402. Der reine Effekt der electrochemischen Zersetzung kann,

deren Beschaffenheit der zersetzten Flüssigkeit
e eintauchenden Leiter, durch sekundäre Ein-
bt werden, so dass es öfters den Anschein hat,
tität der Zersetzung der Menge verwendeter
alent sey.
'e Lösung Verbindungen von analoger Zu-
Wasser, Verbindungen electronegativer
'r Metallen; so wird je nach der Grösse
rischen Kraft bald nur die am leich-
ıen mehrere zugleich zerlegt. Die
aber immer der Summe der stattgehab-
ent. Aus der Menge des aufgefangenen
sich daher in solchen Fällen kein sicherer
uf die Menge der durchgegangenen Electricität.
B. in den verschiedenen Gefässen einer Volta'-
ule verdünnte Schwefelsäure die, in den einen
ern weniger, bereits mit Zinkvitriol oder auch mit
'erlösung vermischt ist, so wird in denselben eine
gleiche Zersetzung, nämlich eine ungleich starke
eintreten. Nur alkalische Salze, deren Säuren
)xydationsmittel sind, der Zersetzungsflüssigkeit
sen das Verhältniss des gebildeten Wasserstoffs
ı Bewegung gesetzten Electricität ganz ungestört.
ımen dass die alkalischen Metalle, wenn sie auch
ı aus ihren Verbindungen ausgeschieden werden,
kosten des vorhandenen Wassers sogleich wieder

orstellung ausgehend, erklärt man sich leicht den
ch: Man bringe in ein doppelschenkliges Rohr
Fig. 163 eine neutrale Salzlösung, z. B. schwe-
felsaures Kali, das mit Veilchensyrup blau ge-
färbt ist, und tauche in die Flüssigkeit des einen
Schenkels einen von dem positiven Pole der
Batterie, in den andern Schenkel einen von dem
negativen Pole ausgehenden Platindraht. Die
Gasentwicklung wird alsbald vor sich gehen
und nach kurzer Zeit wird man bemerken, dass
die das positive Drahtende umgebende Flüssig-
keit eine rothe, die das negative Drahtende um-
gebende Flüssigkeit eine grüne Farbe annimmt;
ıss freie Säure und freies Kali entstanden ist. Das
ole ausgeschiedene Alkali und die am positiven
ene Säure lassen sich quantitativ ermitteln, wenn
zungsapparat durch eine poröse Wand in zwei
ch zwei poröse Wände in drei gesonderte Zellen
igens mit derselben Lösung eines Neutralsalzes

angefüllt werden; in die vorderste Zelle taucht man dann die positive Polplatte, in die hinterste die negative. Die Menge der auf der electropositiven Seite frei gewordenen Säure so wie das auf der negativen Seite frei gewordene Alkali lässt sich dann leicht bestimmen. Auf diese Weise hat Daniell gefunden, dass die Gewichtsmenge zersetzten Salzes ein Aequivalent ist des in derselben Zelle gleichzeitig frei gewordenen Wasserstoffs, dessen Volum wieder dem während derselben Zeit und durch denselben Strom in einem Voltameter entbundenen Wasserstoffe gleichkommt. Wollte man nun annehmen, dass die Gasentwicklung von einer electrischen Wasserzersetzung abstamme und dass derselbe Strom zugleich auch das Salz in Säure und Alkali zerlegt habe, so würde der Gesammtbetrag der Zersetzung noch einmal so viel betragen als sein Aequivalent an durchgegangener Electricität. Es ist daher keine andere Erklärungsweise zulässig, als die, dass beide Zersetzungen sekundärer Art waren, während die primäre darin bestanden hat, das Salz in Kalium und in das electronegative Radikal SO_4 zu zerlegen. Das electrolytische Gesetz enthält somit den bündigsten Beweis für die Richtigkeit der zuerst von Davy aufgestellten und von Liebig verallgemeinerten Theorie der Wasserstoffsäuren.

Eine andere Art sekundärer Erscheinungen, welche die Electrolyse begleiten, beruht auf dem hohen Grade von Verbindungsfähigkeit, den die durch den Strom getrennten Bestandtheile einer Verbindung im Augenblicke ihrer Abscheidung besitzen; einer Fähigkeit die verloren geht, sobald sie in den gewöhnlichen unelectrischen Zustand zurückgetreten sind. So gibt die electrische Zersetzung sehr häufig Gelegenheit zur Bildung von Hyperoxyden, Doppelsalzen und andern Verbindungen, bei welchen sich schwache Verwandtschaften geltend machen müssen und die auf die gewöhnlicheren Verfahrungsweisen des Chemikers oft nur schwer darzustellen sind.

Man setze zwei Platinstreifen, welche die Endpuncte einer Kette von mässiger electromotorischer Kraft, z. B. eines einzigen Daniell'schen Elementes, bilden in eine Auflösung von Bleizucker, so wird das Bleisalz nicht electrisch zerlegt. Man bemerkt aber an dem negativen Pole eine sehr langsame Gasentwicklung (Wasserstoffgas) und an dem positiven Pole bildet sich braunes Bleihyperoxyd, in welcher Form nach und nach alles Blei aus der Flüssigkeit abgeschieden wird. Hier war also, unterstützt durch die Verbindungsfähigkeit des Sauerstoffs im Erzeugungszustande, die Electrolyse des Wassers durch eine Kraft bewirkt worden, die für sich nicht einmal das Bleisalz zersetzen konnte.

Auf ähnliche Weise und aus demselben Grunde setzt sich an dem positiven Pole Manganhyperoxyd ab, wenn die Flüssigkeit aufgelöstes Manganoxydul enthielt. Diess geschieht selbst bei

Anwendung einer kräftigeren Kette und ohne dass sich metallisches Braunstein am negativen Pole zeigt. Die geringsten Spuren von Manganoxydul können auf diese Weise in einer Flüssigkeit bemerkbar gemacht werden.

Befindet sich in der Zersetzungszelle eisenfreier Kupfervitriol oder auch nur verdünnte Schwefelsäure, so entbindet sich an der positiven Platinplatte zugleich mit dem Sauerstoffgase ein flüchtiger Stoff von eigenthümlich säuerlichem, dem der salpetrigen Säure ähnelndem Geruche, jedoch in so geringer Menge, dass die Isolirung desselben so wie die nähere Erforschung seines Verhaltens grosse Schwierigkeiten bietet. Die Vermuthung, dass es eine höhere Oxydationsstufe des Wasserstoffs sey, ist indessen durch Untersuchungen von Fischer und neuere von Williamson fast ausser Zweifel gesetzt. Schönbein, der diesen Geruch zuerst bemerkte, nannte den Träger desselben Ozon; er glaubte in seinem Ozon ein eigenthümliches Princip und zugleich die Ursache des Geruchs der aus Spitzen ausströmenden Reibungselectricität entdeckt zu haben. Gegenwärtig scheint er aber diese Vorstellung selbst wieder aufgegeben und die vorher erwähnte Ansicht über die Zusammensetzung des riechenden Stoffs adoptirt zu haben.

Wird die Zersetzungszelle durch eine poröse Wand in zwei Abtheilungen geschieden, die man beide mit Salmiaklösung anfüllt; so erhält man am negativen Pole Ammonium, das in Wasserstoff und Ammoniak zerfällt; am positiven Pole zeigt sich aber kein Chlor, sondern freie Salzsäure und Chlorstickstoff, das sich in gelben ölartigen Tropfen absetzt. Das durch die Electrolyse ausgeschiedene Chlor hatte folglich dem Salmiak seinen Wasserstoff entzogen und Chlorstickstoff zurückgelassen. Da der Chlorstickstoff ein, wie bekannt, sehr leicht explodirender Körper ist, so erfordert die Anstellung dieses Versuches grosse Vorsicht. Er wird nach R. Böttger's Angabe ganz gefahrlos, wenn man auf die den positiven Pol umgebende Flüssigkeit eine dünne Schicht Terpenthinöl gibt, indem die verschwindenden kleinen Tröpfchen Chlorstickstoff, indem sie sich von der Polplatte erheben und mit dem Terpenthinöl in Berührung kommen, sogleich explodiren, bevor sie sich zu grösseren Gefahr drohenden Massen ansammeln können.

Wenn man den positiven Pol einer kräftigen Batterie mit einer Platte von englischem Gusseisen verbindet und diese in eine möglichst concentrirte Lösung von Aetzkali eintaucht (als negative Gränzfläche kann eine Platin- oder Eisenplatte verwendet werden), so scheidet sich an dem Gusseisen kein Sauerstoff ab, aber die Flüssigkeit in seiner Umgebung wird dunkelroth gefärbt, durch die Bildung von eisensaurem Kali.

Besonders geeignet, um auf dem angedeuteten Wege chemische Verbindungen und zwar hauptsächlich solche hervorzubringen,

die nur durch schwache Verwandtschaften gehalten sind, erscheinen nach Becquerel die langsam wirkenden galvanischen Ketten, welche aus zwei Flüssigkeiten mit einem Metalle gebildet werden. Mit Hülfe derartiger Combinationen hat Becquerel Metalloxyde, Schwefelmetalle, Chlormetalle und zahlreiche Doppelverbindungen im krystallisirten Zustande erhalten. (Siehe sein traité de l'électricité ect. t. III, auch Pogg. Ann. 16. 306 und 18. 143.)

Von dem Leitungswiderstande und dem Ohm'schen Gesetze.

403. Die verschiedenen Leiter der Electricität, feste und flüssige Körper, aus welchen eine galvanische Kette zusammengesetzt ist und die theils wesentliche Bestandtheile derselben ausmachen, theils aus irgend andern Gründen in den Kreis derselben eingeschlossen sind, lassen sich gleichsam als eine Röhrenleitung betrachten, worin die Electricität durch die Wirksamkeit der electromotorischen Kraft bewegt wird, ähnlich wie fliessendes Wasser durch sein Gefälle.

In jedem Bestandtheile der Leitung, welche der Strom durchdringen muss, erfährt derselbe einen Widerstand, der theils von der innern Beschaffenheit des Stoffes, theils von seinen Dimensionen abhängt. Die Summe aller dieser Aufenthalte im Umfange einer Kette auf eine gemeinschaftliche Maasseinheit zurückgeführt (reducirt) nennt man den Leitungswiderstand dieser Kette. In der Kette finde sich z. B. ein Metalldraht, etwa ein Kupferdraht von genau bekannten Dimensionen eingeschlossen und man nehme an, als die wahrscheinlichste Hypothese, dass der durch diesen Draht verursachte Widerstand sich wie die Länge desselben verhalte, so kann man sich weiter vorstellen, dass jedes der übrigen Glieder der Kette für sich genommen einen Widerstand bewirkt, der dem eines mehr oder weniger grossen Bruchtheils jenes Drahtes gleichkommt. Auf diese Weise ist also der ganze Apparat, in Beziehung auf sein Vermögen die Electricität zu leiten mit einem Kupferdrahte von bekannter Dicke und Länge verglichen. Ohm, von welchem diese Betrachtungsweise herrührt, nennt den so bezeichneten Widerstand: den reducirten Leitungswiderstand, und er hat, um die Abhängigkeit des electrischen Stroms von der bewegenden Kraft und dem Widerstande auszudrücken, das folgende allgemein geltende, durch die Einfachheit seines Ausdrucks merkwürdige Gesetz aufgestellt: **Die Menge (Quantität) der bewegten Electricität verhält sich direkt wie die vorhandene electromotorische Kraft und umgekehrt wie der reducirte Leitungswiderstand.** Bezeichnen wir mit Q die Quantität der in der Einheit der Zeit bewegten Electricität, die Stromstärke, mit K die gesammte electromotorische

Kraft der Kette, mit R den Widerstand im Umfange derselben, ausgedrückt als Drahtlänge, so ist hiernach:

$$Q = \frac{K}{R}$$

indem diejenige Stromstärke, welche der Kraft Eins und der Drahtlänge Eins entspricht, ebenfalls als Einheit genommen wird.

404. Die Richtigkeit dieses Gesetzes lässt sich experimentell leicht bewähren. Sehen wir zuerst, dass die Stromstärke dem Leitungswiderstande umgekehrt proportional ist. Man führe zu dem Ende einen constanten Strom, etwa den eines Kohlenelementes durch den Ring der Tangentenbussole (370) und noch durch so viel Umwindungen des Regulators (398), dass dadurch eine bestimmte Ablenkung der Nadel, z. B. die von 30° erhalten wird. Angenommen es wären dazu 5 Windungen erforderlich. Da die Tangenten der Ablenkungswinkel den Stromstärken proportional sind, so können sie als Maass dafür gelten. Es ist unter dieser Voraussetzung $\operatorname{tng} 30^0 = \frac{K}{R}$. Setzt man mehr Argentandraht zu, so vermindert sich der Strom; werden z. B. noch 6,30 Windungen eingeschoben, so stellt sich die Nadel bei 16°,1. Es ist aber $\operatorname{tng} 16^0{,}1 = \frac{\operatorname{tng} 30^0}{2}$, d. h. die Stromstärke ist halb so gross wie früher. Wir schliessen hieraus im Sinne des Ohm'schen Gesetzes, dass der reducirte Leitungswiderstand R = 6,30 Drahtwindungen des Regulators und dass der Widerstand, welchen der Strom bei seinem Durchgange durch die Bestandtheile des Kohlenelementes selbst erfährt, dem von 6,30 — 5 = 1,30 Windungen gleichkommt. Man hat demnach

$\operatorname{tng} 30^0 = \frac{K}{6{,}30}$; $\operatorname{tng} 16^0{,}1 = \frac{K}{2\,.\,6{,}30}$ und es muss ferner seyn:

$\frac{\operatorname{tng} 30^0}{3} = \operatorname{tng} 10^0{,}9 = \frac{K}{3\,.\,6{,}30}$ und eben so

$2 \operatorname{tng} 30^0 = \operatorname{tng} 49^0{,}1 = \frac{K}{6{,}30/_2} = \frac{K}{1{,}30 + 1{,}85}$.

In der That wird das vorletzte Resultat erhalten, wenn der Strom eines Elementes genöthigt wird durch 17,60 Windungen zu laufen; das letzte, wenn nur 1,85 Windungen eingeschaltet werden. Die Kraft K selbst findet man = 3,64, und man ist nunmehr im Stande, je nach der Länge des eingeschalteten Drahtes die Ablenkung, welche eintreten muss, im Voraus mit Sicherheit zu berechnen.

405. Die Stromstärke wächst proportional mit der Kraft. Wir hatten vorher (nach Annahme) gefunden, dass ein Kohlenelement mit 5 Regulatorwindungen einen Strom bewirkte, der die Nadel um 30° ablenkte. Der gesammte auf Windungen

reducirte Leitungswiderstand betrug hierbei 6,30. Man nehme ein zweites Kohlenelement und untersuche wie vorher den Widerstand seiner unmittelbaren Bestandtheile Angenommen er betrage ebenfalls 1,30 Windungen; so werden beide Elemente hinter einander und mit 5 Windungen verbunden, einen Widerstand verursachen, der um 1,30 grösser ist als 6,30. Man ziehe daher 1,30 Drahtwindungen aus der Kette heraus. Der Widerstand ist hierdurch genau derselbe geworden wie früher, die Kraft aber verdoppelt. Die Nadel stellt sich bei 49°,1. Es ist aber $\text{tng } 49°,1 = 2 . \text{tng } 30° = \frac{2.K}{6,30}$.

Fügt man noch 6,30 Windungen hinzu, so wird wieder die Ablenkung von 30° erhalten.

406. **Wenn Kraft und Widerstand gleichzeitig und in proportionaler Weise zu- oder abnehmen, so bleibt die Stromstärke ungeändert.** Man wähle mehrere constante Elemente aus, gleichgültig ob von derselben oder von verschiedener Art und sehe, wie viel Draht jedem einzelnen zugefügt werden muss, damit es für sich einen Ausschlag von 30° bewirkt. Es verhält sich in diesem Falle die Kraft K' irgend eines der gewählten Elemente zum Widerstande R' desselben wie 3,64 : 6,30; oder anders gesagt, wenn $K' = n$ mal 3,64, so muss auch $R' = n$ mal 6,30 seyn. Man verbinde nun alle diese Elemente in gleichem Sinne und setze die Summe der Drahtwindungen zu, welche erfordert wurden, um mit jedem einzelnen die Ablenkung von 30° zu erzielen; die Nadel wird sich wieder bei 30° feststellen, weil durch diese Verbindung Kraft und Widerstand in gleichem Verhältnisse zugenommen haben. Es ist nämlich allgemein

$$\frac{K + K' + K'' + \ldots}{R + R' + R'' + \ldots} = \frac{(1 + n + n' + \ldots) K}{(1 + n + n' + \ldots) R} = \frac{K}{R} = \text{tng } \varphi.$$

Eine Batterie aus noch so vielen gleichen Gliedern zusammengesetzt, kann also keine stärkere Ablenkung der Nadel bewirken als jedes einzelne dieser Glieder, sobald der Strom unmittelbar in den Galvanometerdraht geführt wird und letzterer so gewählt ist, dass er selbst keinen merklichen Widerstand verursachen kann.

407. Aufgabe: Die electromotorischen Kräfte K, K' u. s. w. verschiedener constanter Ketten sollen unter einander verglichen werden. Man verbinde jede dieser Ketten für sich mit der Tangentenbussole und sorge durch Einschluss einer hinreichenden Menge Regulatordraht (r Windungen), dass eine gewisse Ablenkung von φ Graden erhalten wird; dann lasse man durch vermehrten Drahtzusatz (ϱ) die Nadel auf einen bestimmten Grad φ' herabsinken. — Diese Versuche führen je zu zwei Gleichungen, von der Art wie die folgenden:

$$\text{tng } \varphi = \frac{K}{R + r} \text{ und } \text{tng } \varphi' = \frac{K}{R + r + \varrho}$$

ıus man findet:

$$R + r = \frac{\operatorname{tng} \varphi'}{\operatorname{tng} \varphi - \operatorname{tng} \varphi'} \varrho \text{ und } K = \frac{\operatorname{tng} \varphi \operatorname{tng} \varphi'}{\operatorname{tng} \varphi - \operatorname{tng} \varphi'} \varrho.$$

{räfte *K*, *K'* ect. verhalten sich demnach wie die Anzahl Win-:en ϱ, ϱ' ect., welche bei jeder Kette zuzufügen sind, um den d der Nadel von φ auf φ' zurückzuführen.

!m die Grove'sche, Bunsen'sche und Daniell'sche Kette : einander zu vergleichen, wurde die Nadel zuerst auf 30° ein-ɜllt, dann liess man sie auf 20° zurückgehen. Es ergab sich:

	r	ϱ	K
Grove'sche Kette	4,42	3,60	1
Bunsen'sche Kette	4,56	3,62	1
Daniell'sche Kette	1,72	2,10	0,584.

zu den beiden ersten Ketten verwendete Salpetersäure wog Nach mehrjährigem häufigem Gebrauche, immer derselben e, erhielt man K = 0,947. Die unter Mitwirkung der Salpeter-ɜ erhaltene Kraft nimmt also durch den Gebrauch nur wenig Eine mit abgenutzter Säure gebildete Kette besitzt jedoch ı vergleichungsweise geringen Grad der Beständigkeit.

08. Der Leitungswiderstand eines Metalldrahts ıält sich wie seine Länge und umgekehrt wie der :heninhalt seines Querschnittes. Eine Bestätigung die-Satzes erhält man z. B. aus folgendem Versuche. Ein Kohlen-ıent mit 5 eingeschalteten Regulatorwindungen lenkte die ɜl um 30° ab. Vermehrte man die Zahl der Windungen bis auf ıo trat die Nadel bis auf 17°,85 zurück; wurde aber noch ein !ter Argentandraht, von gleicher Dicke und Länge wie der ɜschlossene Theil des Regulatordrahts so eingeschaltet, dass Strom sich zwischen beide theilen musste, so stellte sich die :re Stromstärke wieder her; d. h. der reducirte Widerstand t ungeändert, wenn Länge und Querschnitt des Drahtes pro-onal zunehmen. Ganz dasselbe Resultat wird erhalten, wenn anstatt der beiden Drähte einen einzigen von gleicher Länge von doppeltem Querschnitte in die Kette einschliesst.

Iimmt man nun allgemein eine Regulatorwindung als Längen-eit, die Querschnittsfläche des Regulatordrahts als Einheit des schnittes, so findet man die reducirte Länge eines beliebigen ım Argentandrahts $r = \frac{l}{f}$. Befinden sich daher in einer Kette rere auf einander folgende Leiter, von gleichartigem Stoffe ungleichen Dimensionen, so lässt sich der reducirte Werth elben bestimmen, indem man die wahre Länge eines jeden h seinen Querschnitt dividirt; die Summe dieser Quotienten

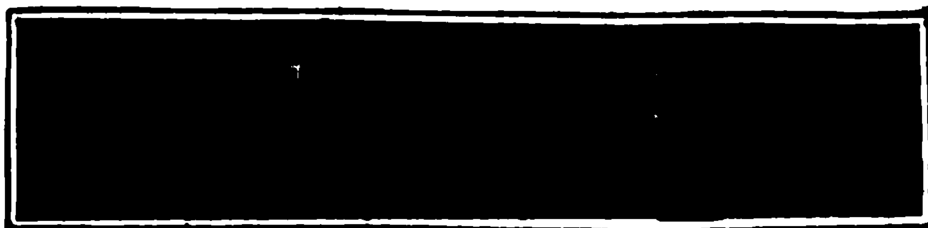
$$\frac{l}{f} + \frac{l'}{f'} + \frac{l''}{f''} + \ldots = r + r' + r'' + \ldots = R$$

die reducirte Länge sämmtlicher Leiter.

Beispiel: Ein Kohlenelement mit 5 Regulatorwindung eine Ablenkung von 30°; der Durchmesser des Regulat beträgt 1,5 mmtre. Es wird ein 2 mmtre dicker Argent 8 Windungen lang eingeschaltet; wie viel Regulatorwi müssen abgewickelt werden um den früheren Ausschlag zu erhalten? Antwort 4,5 Windungen.

Wenn sich der Leitungsdraht in zwei oder mehrere lange, später wieder zusammenlaufende Aeste spaltet, wie die Figur deutet, so verhal die zwischen de nigungspuncten liegenden Stücke einziger Draht, Querschnitt gleich ist der Summe der Querschnitte der v denen Aeste. Die durch einen Ast laufende Electricität verhält sich also zur gesammten circulirenden Electricität, Querschnitt dieses Astes zur Summe der Querschnitte säm Aeste. Haben die einzelnen neben einander her laufenden ungleiche Längen, so gilt dieselbe Regel für die auf gleic gen reducirten Querschnitte derselben. Es sey $\varrho = \frac{\lambda}{\psi}$ die angenommene Einheit des Querschnittes reducirte Läng Astes, so ist $\frac{1}{\varrho}$ der auf die Längeneinheit reducirte Quersch selben; folglich der reducirte Querschnitt sämmtlicher gungen: $\frac{1}{\varrho} + \frac{1}{\varrho'} + \frac{1}{\varrho''} + \ldots = \frac{1}{r}$, wo r die auf de messer des Regulatordrahts reducirte Länge aller zwisch b liegenden Drahtstücke vorstellt. Wenn nun diese Verzwe im Kreise einer galvanischen Kette liegen, so verhält sic ein Zweigstrom q zur ganzen Stromstärke Q, wie der Querschnitt $\frac{1}{\varrho}$ zum reducirten Querschnitte sämmtlicher

Fig. 164.



$$\text{nämlich } q : Q = \frac{1}{\varrho} : \frac{1}{r}$$

$$\text{oder auch } q : Q = r : \varrho$$

woraus folgt $Qr = q\varrho = q'\varrho' = q''\varrho''$ u. s. w.

Beispiel: Es sey K die Kraft eines Kohlenelementes, R der Leitungsw R' eine Anzahl in die Kette gebrachter Regulatorwindungen, q die da haltene Stromstärke. Es werde neben dem Regulatordraht ein ander tandraht von der reducirten Länge ϱ' angebracht, so dass sich der beide vertheilen muss. Wie viele Windungen des Regulators müsse Kette herausgebracht werden, damit der durch denselben gehende Z die anfängliche Stärke q wieder gewinnt? Wenn die bleibenden Wind

ϱ, die ganze Stromstärke mit Q, der reducirte Leitungswiderstand beider Aeste mit r bezeichnet werden, so lassen sich die drei Gleichungen bilden:

$$Q = \frac{K}{R + r};\ Qr = q\varrho;\ \frac{1}{r} = \frac{1}{\varrho} + \frac{1}{\varrho'}$$

aus welchen die drei Unbekannten Q, r und ϱ abgeleitet werden können.

Man findet $\varrho = \frac{(K - qR)\varrho'}{q(R + \varrho')}$;

Die Bedingungen der Aufgabe führen aber auch noch zu einer vierten Gleichung $q = \frac{K}{R + R'}$; wenn man aus dieser den Werth $K = qR + qR'$ in den vorher gefundenen Ausdruck von ϱ, für K substituirt, so erhält man die einfachere Formel $\varrho = \frac{R'\varrho'}{R + \varrho'}$.

Hat man ϱ durch einen Versuch ausgemittelt, und ist dagegen R, d. h. der gesammte Leitungswiderstand der Kette, nach Abzug des Regulatordrahts unbekannt, so findet man $R = \frac{(R' - \varrho)\varrho'}{\varrho}$.

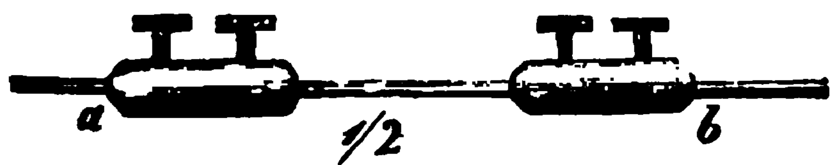
Dieses von Wheatstone angegebene Verfahren R zu bestimmen ist besonders dann sehr empfehlenswerth, wenn man sich auf die Anzeigen eines Galvanometers nicht ganz verlassen kann.

Wenn der ganze Strom einer constanten Kette genöthigt wird durch den Ring der Tangentenbussole zu gehen, während man den Draht eines Multiplicators, der bestimmt ist weit schwächere Ströme zu messen, einer Verzweigung derselben Kette einschliesst, so hat man, durch Veränderung der Länge dieses Zweigdrahts, es ganz in der Gewalt einen mehr oder weniger grossen, messbaren Bruchtheil des Stroms durch das zweite Galvanometer gehen zu lassen. Man erhält hierdurch ein sehr einfaches Mittel, die Anzeigen zweier Instrumente vergleichbar zu machen.

409. Der Leitungswiderstand im Umfange einer geschlossenen electrischen Kette ändert sich nicht nur mit den Dimensionen eines jeden eingeschalteten Drahts, sondern auch mit der einem jeden Verbindungsstücke eigenthümlichen Leitfähigkeit.

Beispiel: Der Schliessungsdraht einer constanten Kette wurde durchschnitten und an den hierdurch entstandenen Enden *a* und *b* (Fig. 165) wurden Schraubenklemmen befestigt.

Fig. 165.



Man gewann hierdurch ein sehr einfaches Mittel Drähte von bestimmter Länge, durch Einklemmen zwischen die Schrauben rasch in den Kreislauf des Stroms einzuschliessen und leicht wieder durch andere zu ersetzen. Zuerst wählte man als Verbindungsstück einen kurzen Kupferdraht von 2,062 mmtre Durchmesser, an dessen Stelle, nachdem der Strom mit Hülfe des Regulators zu einer bestimmten Stärke gebracht worden war, ein anderer Kupferdraht von derselben Dicke, aber von 9,3 Mtre Länge (nach Abzug des herausgenommenen Stücks) eingesetzt wurde. Die Stromstärke hatte dadurch abgenommen, und um die frühere Stellung der Nadel wieder zu erreichen, mussten 0,638 Mtre Argentandraht aus der Kette entfernt

werden. Der Kupferdraht auf den Querschnitt des Regulatord (1,504 mmtre) reducirt, entsprach einer Länge von 4,94 Mtre verhält sich 0,638 : 4,94 = 1 : 7,75. Bei einerlei Querschnitt l folglich 1 Metre Argentandraht denselben Widerstand wie 7,75 dieses Kupferdrahtes (eisenhaltiges Kupfer des Handels); was dasselbe sagt: die Fähigkeit dieses Kupfers, die Elect durchzulassen, war mehr als 7,7 mal so gross als das Leitung mögen des Argentans. Das Leitungsvermögen des reinen Kı auf dieselbe Weise bestimmt, wurde 11,83 mal grösser, dаı reinen Silbers 12,40 mal grösser als dasjenige des Neus gefunden.

Um die reducirte Länge eines Leiters durch Rechnun finden, muss folglich der durch Division seiner wirklichen I durch seinen Querschnitt erhaltene Quotient, noch mit einer multiplicirt werden, welche den der Materie eigenthümlicher tungswiderstand, oder den Widerstand für die Einheit der L und des Querschnitts ausdrückt. Nimmt man den Widerstan

Argentans als Einheit, so ist der jenes unreinen Kupfers gleich

daher die reducirte Länge eines Kupferdrahts von derselben

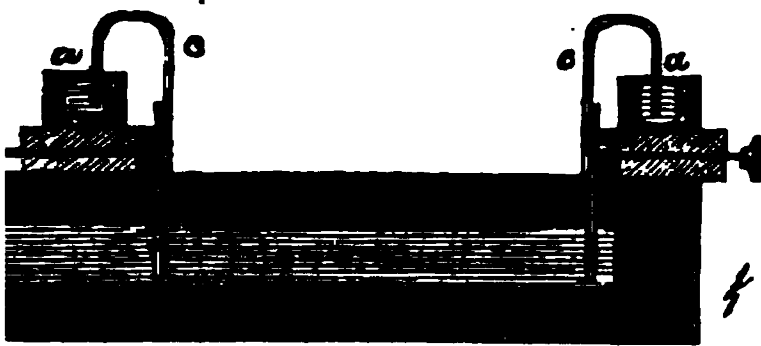
wie der oben geprüfte $= \frac{1}{7,7} \frac{l}{f}$

Das obige Beispiel zeigt zugleich ein Verfahren, den e thümlichen Leitungswiderstand verschiedener Stoffe ausfind machen. Diese Methode, ungeachtet sie in der Ausführung ei ist und sehr zuverlässige Resultate verspricht, ist doch bis nur in einzelnen Fällen angewendet worden. In N. 364 ist Uebersicht der Leitfähigkeit mehrerer Metalle nach Riess n theilt. Wenn man mit jeder dieser Zahlen in 100 dividirt, (man den Leitungswiderstand der betreffenden Körper bezoge das chemisch reine Kupfer als Einheit.

Silber .	0,672	Eisen .	5,663
Kupfer .	1,000	Platin .	6,444
Gold . .	1,125	Zinn . .	6,802
Cadmium	2,602	Nickel .	7,604
Messing	3,610	Blei . .	9,690
Palladium	5,501	Neusilber	11,286

410. Der Leitungswiderstand der flüssigen Bestandtheile electrischen Kette ist ausserordentlich viel grösser als derje der Metalle. Um den Werth desselben für irgend eine Flüssi kennen zu lernen, kann man folgenden Weg einschlagen: viereckiger Kasten von festem Holze, (Fig. 166), 0,3 Metre l 0,075 Metre breit und etwa eben so tief, ist im Innern dick g nisst, um das Eindringen der Flüssigkeit möglichst zu verzög Darauf befinden sich zwei Bretstücke, von welchen das eine

Fig. 166.



sitzt, das andere verschiebbar ist. Sie dienen um die in die Flüssigkeit eintauchenden Platten zu halten und nach Befinden deren Abstand zu verändern. Diese Platten, von gleicher Grösse wie der Querschnitt ıstens, werden an den Kupferstreifen *c* festgeklemmt; letztere n den Bretstücken angeschraubt und ihre umgebogenen Enıuchen in die zur Aufnahme der Poldrähte bestimmten Quecknäpfe *a*. Wenn man nun diesen Apparat in die Kette einsst und in den Kasten eine beliebige Flüssigkeit bringt, so man sogleich, dass der Widerstand mit der Dicke der zwibeiden Platten befindlichen flüssigen Schicht zunimmt. Doch kt man, dass die erste Lage Flüssigkeit zwischen den Platıag dieselbe auch nur wenige Linien betragen, gewöhnlich ıuffallend grössere Verzögerung bewirkt, als jede folgende dicke Schicht. Lässt man aber diese erste Lage z. B. die rsten Millimetre ganz unberücksichtigt, so ergibt sich für den ɪn Theil der eingeschichteten Flüssigkeit ein Leitungswider-, welcher gleich wie bei metallischen Leitern, der Länge und dem Querschnitte umgekehrt proportional ist, übrigens einer Flüssigkeit zur andern wechselt. Der Grund des von m Gesetze abweichenden Widerstandes in der dünnen die platten unmittelbar berührenden flüssigen Schicht, ist die Zersetzung der Flüssigkeit bewirkte Polarisation der metaln Grenzflächen. Die Grösse der Abweichung wechselt daher je nach der Grösse der, mit dem Worte Polarisation bezeich-, electromotorischen Gegenkraft. Angenommen die Flüssigı dem Kasten war verdünnte Schwefelsäure von 1,1 spec. Gew., uerschnitt derselben betrug 2812 Q. Mmtre und die eingeten Platinplatten wurden nach und nach in verschiedenen nden, parallel einander gegenübergestellt, so ergab sich bei blenkung der Nadel und 5 Mmtre Abstand der Platten ein Wiınd, der demjenigen von 33,69 Regulatorwindungen gleich-Für je 10 Centimtre vergrösserten Abstand konnte die Widerszunahme durch 6,56 Regulatorwindungen ersetzt werden. r letztere ausschliesslich von dem Leitungsvermögen der igkeit abhängige Widerstand blieb bei jeder Veränderung der stärke derselbe; dagegen die erste, im Zwischenraume der rsten Millimetre bewirkte Verzögerung änderte sich mit der e des Stroms und mit der Beschaffenheit der eingetauchten n.

ill man den Widerstand dieser Flüssigkeit auf den einer Reırwindung zurückführen, deren Länge 75 Centimetre und

deren Querschnitt 1,776 Q. Millimetre ausmachte, so findet Verhältniss wie 1 : 77585. D. h. die Leitfähigkeit des Ne (des schlechtesten Leiters unter den Metallen) ist 77585 m ser als die der verdünnten Schwefelsäure bei 1,115 spec.

Auf dem angedeuteten Wege hat E. N. Horsford den L widerstand verschiedener Flüssigkeiten untersucht. Die Tabelle ist aus seiner Arbeit entlehnt.

Namen und Beschaffenheit der Flüssigkeit.	Leitungswidersta der des Neusilbers = 1;	chen Sil
Schwefelsäure von 1,10 spec. Gew.	75673	
„ „ „ 1,15 „ „	67770	
„ „ „ 1,20 „ „	56180	
„ „ „ 1,24 „ „	56180	
„ „ „ 1,30 „ „	56180	
„ „ „ 1,40 „ „	82520	1
Kochsalzlösung 27,6 Grm in 500 C. C. Wasser	577100	7
„ „ 21,3 „ „ „ „ „	769460	9
„ „ 10,65 „ „ „ „ „	1488200	18
„ „ 5,325 „ „ „ „ „	2750560	34
Chlorkaliumlösung 27,6 Grm in 500 C. C. Wasser	578000	7
Kupfervitriollösung; 100 C. C. enthalten 15,093 Grm Cu O, S O$_3$	972320	12
Kupfervitriollösung; dieselbe Salzmenge im doppelten Volume Flüssigkeit	1410200	17
Zinkvitriollösung; 100 C.C. enthalten 7,287 Grm Zn O, S O$_3$ HO	1896000	23

Diese Angaben gelten für eine mittlere Temperatur von ungefähr abnehmender Temperatur vermehrt sich der Leitungswiderstand flüs per sehr merklich. Doch fehlt es hierüber bis jetzt an verlässigen Er

Sehr bemerkenswerth ist die geringe Fähigkeit des reinen W Electricität zu leiten. Sein Leitungsvermögen ist fast 13,7 Millionen ger als das des Neusilbers, oder 169,4 Millionen mal geringer als das d Gleichwohl ist Regenwasser ein guter Leiter, verglichen mit trock und trocknem Erdreiche. Die tieferen mit Wasser reichlich geträn schichten leiten vergleichungsweise gut und zeigen dabei das Eigen dass sie, durch (in Brunnen) eingesenkte Metallplatten von etwa 4 Q in den Kreislauf einer electrischen Kette eingeschlossen, einen Wider wirken, der von dem Abstande beider Platten beinahe ganz unabh Derselbe kommt dem eines Neusilberdrahts von 380 Meter Länge bei meter Durchmesser nahe gleich.

411. Man vermindert den Leitungswiderstand der f Bestandtheile im Inneren galvanischer Ketten durch Ve rung der eingetauchten Platten und Verringerung des z jedem Plattenpaar befindlichen, mit Flüssigkeit ausgefüllten Weit mehr erreicht man jedoch bei den constanten Ketten d Beseitigung der Polarisation.

Die Kohlencylinder, so wie dieselben gegenwärtig na sen's Vorschrift in Marburg verfertigt werden, haben in

ırchmesser von 5 Centimeter bei höchstens 10 Centimeter s eingetauchten Theils. Die dem Zinkcylinder gegenüber- ɜ Fläche hat also ungefähr 150 Q. Centim. Inhalt. Der Ab- ider die Flüssigkeiten begränzenden Flächen beträgt nicht ; 5 mmtre. Werden zwei dieser constanten Ketten neben : verbunden, d. h. Kohle mit Kohle, Zink mit Zink, so dass ›inziges Kettenglied von doppelter Grösse der eingetauch- en vorstellen, so wird bei unveränderter Grösse der electro- hen Kraft, der Widerstand im Innern der Kette auf die ermindert. Der Vortheil der daraus entspringt, lässt sich der Formel: $q = \frac{K}{\frac{R}{2}+r}$ leicht übersehen. Offenbar nur enn die durch die flüssigen Bestandtheile der Kette verur- 'erzögerung des Stroms, verglichen mit dem Leitungs- ınde des übrigen Theils der Kette, gross ist, kann es von ng werden, mehrere Elemente neben einander zu einem ı grösseren zu verbinden.

n man zuerst ein constantes Element, dann zwei neben · zur Kette schliesst und durch Einschieben von Argentan- n Strom in beiden Fällen zu gleicher Stärke regulirt, so ie Ergebnisse dieser Versuche zu den Gleichungen:

$$q = \frac{K}{R+r} \text{ und } q = \frac{K}{\frac{R}{2}+r'},$$

sich ergibt, dass $\frac{R}{2} = r' - r$ also $R = 2\,(r' - r)$. Auf Wege fand man, bezogen auf Regulatorwindungen und }. C. Flächeninhalt der eingetauchten Platten den Leitungs- ınd im Innern eines constanten

ɜnelementes = 0,99 Windungen des Regulatordrahts
ıelementes = 1,20 „ „ „ „
erelementes = 1,24 „ „ „ „

Leitungswiderstand in diesen drei Ketten ist also nicht be- verschieden und bei den angegebenen Dimensionen über- icht sehr beträchtlich. Hat man eine grössere Anzahl ier Elemente zur Verfügung, so entsteht häufig die Frage, Weise der Zusammenstellung den grösstmöglichsten Effekt Es seyen im Ganzen n Elemente zu einer Kette von x auf r folgenden Gliedern zusammengestellt, dergestalt dass je nte neben einander ein um eben so vielmal vergrössertes aar vorstellen. Der Leitungswiderstand eines jeden Glie- cheint also auf den Werth $\frac{Rx}{n}$ zurückgeführt. Setzt man

den Widerstand des übrigen Theils der Kette $= r$, so wird die Stromstärke $Q = \frac{x \cdot K}{x \cdot \frac{Rx}{n} + r}$ ihren grössten Werth erhalten, wenn

$\frac{Rx \cdot x}{n} = r$; d. h. wenn die Säule so zusammengestellt worden ist, dass der Widerstand im Innern derselben dem der übrigen Verbindungsstücke gerade gleichkommt.

Es seyen z. B. 4 Kohlenelemente vorhanden, und der Widerstand r entspreche dem von nur einer Regulatorwindung, so würden sie am besten zu zwei neben einander geordnet werden. Käme aber r dem Widerstande von 4 Windungen gleich, so würde man die vier Elemente hinter einander verbinden müssen.

412. **Bestimmung des Widerstandes der Polarisation.** Die Hindernisse welche flüssige Verbindungen dem Durchgange des electrischen Stroms entgegensetzen, können wie wir wissen, durch zwei wesentlich verschiedene Ursachen herbeigeführt werden; einestheils nämlich durch den Leitungswiderstand, anderntheils durch die Polarisation der eingetauchten Platten. Dieser letztere Widerstand, wenn auch eine Folge des Stroms, verhält sich doch, so lange er vorhanden ist, als eine selbstthätige electromotorische Kraft und ist als solche der ursprünglichen Betriebskraft des Stromes entgegengesetzt; er muss folglich von der letzteren in Abzug gebracht werden, wenn es sich darum handelt, das Maass der wirklich thätigen Kraft einer Kette kennen zu lernen.

Beispiel: Vier Kohlenzink-Paare waren mit einem Wasserzersetzungs-Apparate (Platinplatten in verdünnter Schwefelsäure) verbunden und die Stromstärke durch Zusatz von Argentandraht auf 40° gebracht. Um die Ablenkung auf 30° zurückzuführen, mussten noch 4,30 Windungen eingeschaltet werden. Dieselben 4 Elemente nach Ausschluss der Zersetzungszelle, wie vorher auf 40° Ablenkung regulirt und dann durch Drahtzusatz der Strom auf 30° zurückgeführt, bedurften hierzu 7,24 Windungen. Die Betriebskraft in beiden Fällen (siehe N. 407) verhielt sich also wie 4,30 : 7,24. Der Unterschied 2,94 bezeichnet den proportionalen Werth der Polarisation. Die Kraft eines Kohlen-Zink-Paars, nämlich $\frac{7{,}24}{4} = 1{,}81$ der Einheit gleich gesetzt, findet man hiernach die Gegenkraft der Polarisation, hervorgerufen unter dem Einflusse eines Stroms von 40° (d. h. eines Stroms der in der Minute 35,38 C. C. Wasserstoffgas liefert) $\frac{2{,}94}{1{,}81} = 1{,}6$. Dieser Werth gilt indessen nicht bloss für die genannte Stromstärke, sondern mit geringen Abweichungen für starke Ströme überhaupt, so oft derselben ein Voltameter mit Platinplatten eingeschlossen ist. Bei

nen unter der für eine lebhafte Wasserzersetzung geeigneten
ıe zeigt sich eine bedeutend geringere, mit der Stromstärke
llgemeinen abnehmende Gegenkraft. Die Grösse derselben
ibrigens ganz unabhängig von der Einsenkungstiefe der
en so wie von der Dicke der flüssigen Schicht zwischen den-
n.

er Widerstand eines mit der galvanischen Kette verbundenen
meters lässt sich nunmehr leicht der Rechnung unterwerfen,
n man der Ohm'schen Formel die Gestalt gibt:

$$Q = \frac{nK - P}{nR + r}$$

' den Einfluss der Polarisation vorstellt. Für die Grove'sche
Bunsen'sche Säule ist P = 1,6 K (Platinplatten in Schwefel-
: vorausgesetzt); für die Daniell'sche Säule P = 3 K.

lan begreift hiernach, warum die Wasserzersetzung zwischen
platten die Kraft von wenigstens 2 constanten Kohlen-Zink-
en, oder von wenigstens 4 constanten Kupfer-Zink-Paaren
ıspruch nimmt.

Wärmeentwicklung durch electrische Ströme.

13. Wenn die bewegte Electricität, gleichgültig von welcher
le sie abstammt, ihren Weg durch einen metallischen Leiter
nen muss, dessen Querschnitt nicht gross genug ist, um den
n unverzögert durchlassen zu können, so erwärmt sich der
r. Metalldrähte von geringer Leitfähigkeit, z. B. dünne Pla-
ähte, können hierdurch bis zum Weissglühen, ja bis zum
elzen erhitzt werden; sind sie zugleich leicht oxydirbar wie
draht, so entzünden sie sich und verbrennen.

14. Die näheren Bedingungen dieser Wärmeentbindung sind
st durch eine umfassende experimentelle Arbeit von Peter
s aufgehellt und festgesetzt worden. Als Electricitätsquelle
te er eine Reibungselectrisirmaschine, deren positiver Con-
or mit der inneren Belegung einer gut isolirten Batterie in
terbrochener Metallverbindung stand. Die Flaschen der letz-
, jede mit 1,5 Fuss Belegung, hatten möglichst gleiche Grösse
Glasdicke. Menge und Dichtigkeit der angehäuften Electricität
len auf die schon früher (S. 283) angegebene Weise gemes-
Die zu diesem Zwecke verwendete, sorgfältig gearbeitete
e'sche Flasche hatte $\frac{1}{2}$ Q. F. Belegung auf jeder Seite, und
Kugeln liessen sich auf sehr genau messbare Entfernungen
nander stellen. Dieser Abstand betrug bei dem grösseren
le der Versuche nur $\frac{1}{3}$ Linie und überstieg niemals 1 Linie.
so geringe Schlagweite war nöthig, damit nach jeder Entla-
; nur ein geringes Residuum in der Maassflasche blieb, und

folglich die Ableitung der Batterie (siehe S. 283) so gut wi ständig in den natürlichen Zustand zurücktrat. Nur unter Bedingung konnte die Anzahl Entladungen der Lane'schen F als Maass für die angesammelte Electricitätsmenge mit Sicl genommen werden.

Als Maass für die durch den Entladungsschlag der B erzeugte Wärme gebrauchte Riess ein zu diesem Z ursprünglich von Harris angegebenes Luftthermometer v gender Einrichtung. Eine Glaskugel A (Fig. 167.) von weni

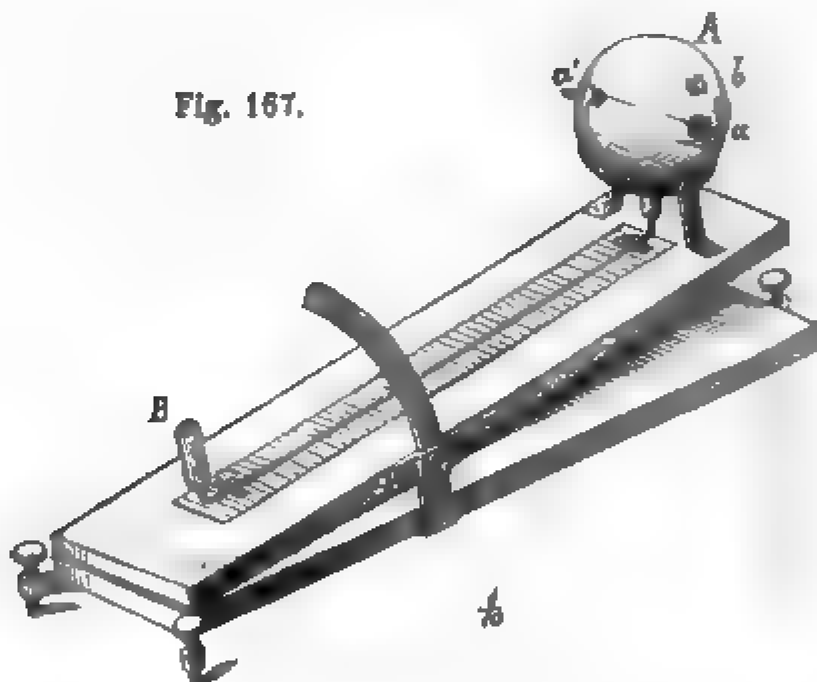


Fig. 167.

3 Zoll Durchmesser, wird an drei Stellen geöffnet, und so dass zwei Oeffnungen a und a' diametral gegenüberlie diese sind durchbohrte, ungefähr 1 Zoll lange Messingauf kittet, die äusserlich einen Schraubenzug haben und noch dazwischen gelegter Lederscheibe luftdicht versch werden können. Die dritte Oeffnung b ist mit einer durch Fassung versehen und durch einen eingeschliffenen Stöpsel dicht zu verschliessen; sie dient um vor dem Beginne eines suches die Spannung der innern und äussern Luft ins Glei wicht zu setzen. Die Kugel A sitzt an dem einen Ende 200 Linien langen 0''',45 weiten Glasröhre, an deren anderem ein 2'',5 hohes, 6''',3 weites Glasgefäss B angelöthet ist. Das ist auf einem Brette über einer in Linien getheilten Scale be Dieses Brett wird auf die in der Figur ersichtliche Weise m Metallbogen und Klemmschraube, gegen eine mit ihm dur Gelenke verbundene wagerechte Unterlage unter einem pass Winkel (Riess blieb bei $6\frac{0}{4}$ stehen) festgestellt. In das G wurde durch Alkohol stark verdünnte mit Cochenille ge Schwefelsäure in der Menge gegossen, dass sie im Gefässe 1 Röhr ungefähr 100 Linien einnahm. Um den Draht, dessen E

Fig. 168.



mung untersucht werden sollte, in der Kugel auszuspannen, werden zwei Klemmen von der in Fig. 168 abgebildeten Art gebraucht. Das viereckige Drahtstück *a* (2‴ Seite, 7‴,8 lang) geht ohne
g durch entsprechende Oeffnungen der Messingansätze
ɪ'; es hat an dem einen Ende eine männliche Schraube *d*
rragender Schraubenmutter, am andern eine conische Ver-
, die sich in einer weiblichen Schraube endigt. In die Ver-
passt ein kleiner Kegel *b*, der vorn eingeschnitten ist und
nschrauben den in die Spalte gelegten Draht fest einklemmt.
m der Draht in der gehörigen Länge, wenn er für die Kugel
g seyn sollte, spiralförmig gewunden, in den beiden Kegel-
en befestigt ist, wird an der einen Klemme anstatt der
benmutter ein Metallstab von der Länge des Kugeldurch-
rs aufgeschraubt, welchen man dann mit Klemme und Draht
lurch die Kugel zieht. Wenn dann der Hülfsstab wieder ab-
men worden, dient die Mutterschraube zum Festspannen
ahts. Die Hülsen, welche über die Ansätze der Thermome-
el geschraubt sind, haben an ihren Enden conische Oeffnun-
n welche die Zuleitungsdrähte gesteckt werden. Der eine
Drähte führte in fortlaufender Metallverbindung zur äusse-
elegung der Batterie; der andere zu einer isolirten Kugel,
er eine ähnliche mit der innern Belegung der Batterie zu-
enhängende Kugel gegenüberstand. Zwischen beiden, eben-
isolirt, befand sich eine, um excentrische Axe bewegliche
stange, so gestellt dass sie, wenn man sie niederfallen liess
Kugeln verbinden musste*). Hierdurch wurde die Kette
ossen und die Entladung bewerkstelligt. Bildete nun der in
ftthermometer enthaltene Draht einen Theil des Schlies-
bogens, so wurde er erwärmt und erwärmte seinerseits wie-
e umgebende Luft, aus deren Spannungszunahme und Vo-
ergrösserung durch Zurückdrängen der Flüssigkeitssäule der
mte Wärmezufluss oder auch die momentane Temperatur-
ng des Drahtes auf bekannte Weise berechnet werden
. Als nothwendige Grundlage dieser Rechnung galt die
den Gang der Versuche gerechtfertigte Voraussetzung, dass
ärme des Drahtes in die Luft übergegangen war und dass
raus entspringende Eindruck auf die Flüssigkeit des Rohrs
ndig stattgefunden hatte, bevor nur der geringste Theil die-
rme auf die Glashülle übertragen werden konnte. Gebrauchte
e Vorsicht, die Versuche bei ruhiger Luft und (von einem
he zum andern) unveränderlichem Barometerstande anzu-
, so durften die unmittelbaren Anzeigen (*t*) des Luftthermo-

*) Pogg. Ann. 40. S. 339., auch Dove Rep. 2. S. 97.

meters, d. h. die Anzahl Linien um welche die Flüssigkeit zur gedrängt wurde, den entwickelten Wärmemengen (w) proporti gesetzt werden. Man erhielt also w = βt, wo β eine bestän wesentlich nur von der Beschaffenheit und Menge der das thermometer ausfüllenden Luftmasse abhängige Grösse vorstel Man gewann hierdurch den Vortheil, in so weit es sich nu die Aufstellung von Gesetzen handelte, die oben angedeutete grosser Schärfe nicht ausführbare Rechnung ganz umgehe können.

415. **Wärmeerzeugung durch Entladungen von gleicher Stärke.** Welchen Einfluss Quantität und Dichti der electrischen Anhäufung auf die Wärmebildung äussern, er man aus den folgenden Versuchsreihen.

S	2		3		4		5		6	
	τ		τ		τ		τ		τ	
q	beob.	ber.	beob.	ber.	beob.	ber.	beob.	ber.	beob.	[illegible]
2	1,5	1,8								
3	4,3	4,0	3	2,6	2	2,0	1,5	1,6		
4	6,7	7,0	4,5	4,7	3,2	3,5	3,0	2,8	2,6	
5	9,3	11,0	7,0	7,3	5,2	5,5	4,5	4,4	3,8	
6	13,4	15,8	9,7	10,6	7,3	7,9	6,5	6,3	5,5	
7			15	14,4	11,0	10,8	8,8	8,6	7,3	
8			17,5	18,8	14,1	14,1	11,3	11,3	9,3	
9					17,8	17,8	14,3	14,3	11,7	1
10							16,7	17,6	14,3	1[illegible]

Die Beschaffenheit des Schliessungsbogens war bei allen sen Versuchen genau gleich. Der im Luftthermometer ausgespa Platindraht war 35 Par. Lin. lang, seine Dicke betrug 0‴,1094

Die oberste wagerechte mit S bezeichnete Reihe gibt die zahl angewendeter Batterieflaschen; aus der ersten Vertikalsp mit q bezeichnet, erfährt man die Quantität der Ladung, au drückt in Entladungen der Maassflasche; deren Kugeln auf 1 L Abstand gestellt waren. Die mit τ überschriebenen Vertikalsp enthalten die Anzeigen des Luftthermometers. Alle in dersel

*) Streng genommen ist β kein constanter Werth, sondern ändert auch mit dem Gewichte und der Wärmecapacität des Drahtes, indem eine der Temperaturerhöhung der Luft correspondirende Wärmemenge in Metallmasse zurückbleiben muss. Es ist also einleuchtend, dass nach obigen Formel bei denjenigen Drähten, welche die meiste Wärme zurückhal w etwas zu gering gefunden wird. — Wenn jedoch, wie bei den Versu von Riess, die Luftmasse des Thermometers gross, der eingeschlossene aber von sehr geringer Masse ist, so hat der begangene Fehler keinen Ein auf die Resultate.

gerechten Linie aufgezeichneten Temperaturen beziehen sich gleiche Quantität der Ladung, alle in derselben lothrechten ie auf gleiche Oberfläche der Batterie.

Man sieht nun sogleich dass die, gleichen Electricitätsmengen sprechende Wärmeerzeugung, je nach der Zahl der Flaschen, rin diese Electricität vertheilt war, sehr ungleich ausfällt. Nähere rachtung lehrt, dass der Wärmeeffect für gleiche Eleccitätsmengen der Oberflächengrösse umgekehrt, oder s dasselbe sagt: der Dichtigkeit der Anhäufung direkt oportional ist. D. h. ein gegebenes Quantum Electricität, ch denselben Schliessungsbogen entladen, erzeugt bei doppel- Dichtigkeit eine doppelte, bei dreifacher Dichtigkeit eine dreihe Menge freier Wärme u. s. w. Die nach dieser Annahme behneten Werthe rechtfertigen dieselbe.

Für ungleiche Electricitätsmengen aber gleiche chtigkeit, z. B. für die doppelte Menge auf der doppelten Anhl Flaschen vertheilt, oder die dreifache Menge auf der dreihen Anzahl u. s. w., steigt die Wärmeentwicklung in radem Verhältnisse zur Quantität der Entladung.

Vermehrt man die Ladung ohne Vergrösserung der erfläche, so wächst die Wärmemenge, wie das adrat der electrischen Anhäufung. Z. B. die doppelte dung auf derselben Anzahl Flaschen, bewirkt die vierfache Erhung des Thermometerstandes. Dieses Resultat ergibt sich gentlich schon als eine nothwendige Folge der beiden vorherhenden Erfahrungssätze, weil bei fortgesetzter Anhäufung, imr in derselben Flasche Menge und Dichtigkeit der Electricität ichmässig zunehmen müssen. Es ist demnach allgemein $\tau = \alpha \frac{q^2}{S}$ dzwar insbesondere für die gewählten Versuchsreihen $\tau = 0{,}88 \frac{q^2}{S}$.

Die Wärmemenge, welche durch die Entladung einer ctrischen Batterie im Schliessungsdrahte hervorbracht wird, steht im zusammengesetzten Verhältse der Quantität und Dichtigkeit der angehäuften ctricität.

416. Einfluss der Beschaffenheit des Schliessungsgens auf die Wärmeerzeugung in einem bestimmt gewählten und unveränderlichen Theile desselben. überaus gross die Geschwindigkeit ist, womit die Entladung er electrischen Batterie vor sich geht, so weiss man doch, dass gewisses Maass von Zeit dazu erforderlich ist; und man weiss h, dass Vermehrung des Leitungswiderstandes dieses Maass grössert (363). Um den Einfluss der Verzögerung auf die rmende Kraft des Stromes kennen zu lernen, untersuchte Riess

den Wärmeeffect, welchen ein und derselbe Platindraht im Luftth mometer bei unveränderter Beschaffenheit des Schliessungsbog hervorbrachte. In den Kreis des letzteren wurde zu dem Ende Henley'scher Auslader eingeschaltet, zwischen dessen Ar Drähte von bekannten Dimensionen nach einander eingeklem wurden. Denkt man sich nun den Widerstand des Schliessun bogens bei unmittelbarer Verbindung beider Arme des Auslad als Maass-Einheit, so wird jeder Zusatzdraht zu dieser Ein einen Bruchtheil hinzufügen, dessen Grösse von der Länge, Dicke und dem Stoffe des zugesetzten Drahtes abhängig ist.

Im Luftthermometer befand sich ein Platindraht von 86''',2 Lin und 0''',0792 Dicke. In den Kegelklemmen des Ausladers wu Kupferdraht von 0''',29 Dicke befestigt. Je nach der Länge dies Drahtes und bei gleichbleibender Quantität und Dichtigkeit der dung wurden unter vielen andern wohl übereinstimmenden Res taten die folgenden erhalten (Pogg. Ann. B. 43. S. 65):

Länge des Kupferdrahts. l. Par. Fuss.	Stand des Luftherm. τ	a
0	12,5	
9.6	11,0	0,0142
49,0	7,7	0,0130
98,4	5,4	0,0134
147,7	4,3	0,0129
246,4	3,0	0,0129

Die Erwärmung nimmt ab, wenn die Drahtlänge zunimmt. Se man die Zunahme des Widerstandes für jeden Fuss Kupferdra $= a$, und nimmt man an: dass die Wärmeentwicklung i Luftthermometer abnimmt, in demselben Verhältnis in welchem der Leitungswiderstand sich vergrö sert, so ist:

$$1 : (1 + al) = \tau : 12{,}5.$$

Die Uebereinstimmung der mittelst dieser Gleichung berechne Werthe von a in der dritten Spalte, rechtfertigt obige Vora setzung.

Zur Bestimmung des Einflusses der Dicke des Schliessun drahtes sind unter andern die folgenden Versuche mit Platindräh von ungleicher Dicke angestellt worden.

Drahtlänge. Par. Lin.	Drahtdurchmesser. Par. Lin.	τ	a
0		21,6	-
144	0,232	19,7	0,0000361
144	0,153	17,8	0,0000347
144	0,100	14,6	0,0000336
17	0,065	18,9	0,0000359

Die Entfernung beider Kugeln der Maassflasche betrug bei d

gleich wie bei allen vorhergehenden Versuchen 1'''; die Quan-
der Electricität entsprach jedesmal 8 Entladungen und war auf
ischen vertheilt. *a* bezeichnet die Widerstands-Vermehrung
h Zusatz eines Drahtstücks von 1 Linie Länge und 1 Linie
hmesser. Die gut übereinstimmenden Werthe von *a* sind nach
Gleichung $1 : \left(1 + \frac{al}{d^2}\right) = \tau : 21,6$ berechnet worden. $\frac{l}{d^2}$ be-
et die auf den Durchmesser 1 reducirte Länge eines einge-
lteten gleichartigen Drahtes; $\frac{al}{d^2}$ die dadurch bewirkte Ver-
serung des Leitungswiderstandes.

Aufschluss über das Verhalten ungleichartiger Drahtmasse ge-
die folgenden von Riess (Pogg. Ann. B. 45. S. 4) mitgetheilten
hrungen. Die Entfernung beider Kugeln der Maassflasche be-
½ Linie; die Electricitätsmenge entsprach jedesmal 14 Ent-
ngen auf 4 Flaschen vertheilt. Der im Luftthermometer aus-
ännte Platindraht hatte bei 59''',25 Linien Länge 0,08196 Lin.
hmesser. In den Kegelklemmen des Ausladers wurden nach
nder befestigt:

aht von	Länge;	Durchmesser Linien	τ	γ
na . .	34,67	0,08196	16,8	
, . .	87,26		12,4	
, . .	143,50		9,8	1
r . . .	110,08	0,08072	19,9	0,1038
er . .	141,60	0,08390	18,5	0,1548
. . .	125,00	0,07867	18,1	0,1742
ing . .	99,80	0,08534	15,1	0,5611
n . . .	68,00	0,08383	14,6	0,8787
. . .	48,00	0,08339	15,3	0,9481
el . . .	61,80	0,08400	13,6	1,1795
. . .	38,50	0,08354	14,7	1,5020
nium . .	84,90	0,08029	16,7	0,4042
dium .	65,30	0,08303	14,8	0,8531
ilber .	58,40	0,08008	11,3	1,7525

den drei ersten Angaben mit Platindrähten und vermittelst der
ortion

$$\left(1 + \frac{l}{nd^2}\right) : \left(1 + \frac{l'}{nd_{,}^2}\right) = T_{,} : \tau$$

t man die Zahl n $\left(\text{es ist } n = \frac{1}{a}\right)$, womit die auf den Durch-
ser 1 reducirte Länge eines Platindrahts, nämlich $\frac{l}{d^2}$, dividirt
len muss, um den Widerstand dieses Drahtes als Bruchtheil

vom Leitungswiderstande des übrigen Theils des Schliessung bogens ausdrücken zu können. Man erhält durch Verbindung

des ersten mit dem zweiten Versuche n = 16975
des zweiten mit dem dritten Versuche n = 16922
des dritten mit dem ersten Versuche n = 16863

Das Mittel dieser drei Werthe 16920 an die Stelle von n in die Pr portion $1 : \left(1 + \frac{l}{n d^2}\right) = \tau : x$ gesetzt, lässt sich die Anzei x des Luftthermometers für den Leitungswiderstand 1, d. h. für d Fall berechnen, dass beide Arme des Henley'schen Ausladers unmittelbare Verbindung treten. Man findet x = 22,2. Mit Hül dieses Werthes und der Proportion

$$1 : \left(1 + \frac{l}{16920 d^2}\right) = \tau : 22{,}2$$

lässt sich nun für jeden beliebig gewählten Thermometerstand die reducirte Länge $\frac{l}{d^2}$ eines Platindrahtes bestimmen, bei dess Einschaltung in den Schliessungsbogen, welcher für sich den Le tungswiderstand 1 bewirkt, jene Anzeige T des Luftthermomete erhalten werden müsste.

Diese Betrachtungen auf die unter dem Einflusse verschiede artiger Metalldrähte erhaltenen Wärmeeffecte angewendet, u berücksichtigend dass die reducirte Länge, z. B. des Silberdraht beträgt $\frac{110{,}08}{(0{,}08072)^2} = 16891$; kann man fragen: welche auf de selben Durchmesser reducirte Länge Platindraht würde anstatt de Silberdrahtes eingeschaltet werden müssen, damit der Wärmeeffe umgeändert, nämlich $T = 19{,}9$ bliebe? Die Antwort ist $\frac{l}{d^2} = 175$ D. h. eine Länge von 1753 Platindraht verzögert den Entladung schlag der Batterie eben so stark als ein Silberdraht von gleich Dicke aber 16891 Länge. Der eigenthümliche Leitungswidersta des Platins verhält sich folglich zu dem des Silbers, bei gleich Länge und Dicke der Drähte wie 16891 : 1753, oder auch w 1 : 0,1038, wenn der Widerstand des Platins als Einheit genomm wird. Sämmtliche in der mit γ überschriebenen Spalte aufgezeic neten Werthe, sind auf diese Weise berechnet worden. Mit Hü dieser Daten können nunmehr auch die in der Tabelle enthalten Anzeigen des Luftthermometers durch Rechnung controllirt we den, indem man in der Proportion

$$1 : \left(1 + \frac{l \gamma}{16920 d^2}\right) = T : 22{,}2$$

für l und d die Dimensionen eines beliebigen Drahtes für γ seine eigenthümlichen Leitungswiderstand setzt.

Der eigenthümliche Leitungswiderstand eines Stoffes ist das Umgekehrte seiner Leitfähigkeit; z. B. die Leitfähigkeit des Silbers ist $\frac{16891}{1753} = 9{,}6$. Die bereits Seite 284 angeführten Zahlen sind so gefunden worden, nur dass man dort nicht die dem Platin, sondern die dem Kupfer entsprechende Zahl als Einheit gewählt hat.

Die bis dahin gewonnenen Resultate zusammengefasst gelangt man zu dem Ausdrucke

$$\tau = \frac{\alpha . q . q}{s\left(1 + \frac{l\gamma}{n d^2}\right)}$$

Die Wärmeerzeugung in einem Drahte, der Bestandtheil des Schliessungsbogens ist, steht im zusammengesetzten Verhältnisse der Quantität und Dichtigkeit der Ladung und verhält sich umgekehrt wie die auf vergleichbares Maass reducirte Länge sämmtlicher Theile des Schliessungsbogens.

417. **Abhängigkeit des Wärmeeffectes von der Entladungszeit.** Wir wissen aus dem Ohm'schen Gesetze, dass die Menge Electricität, welche in der Zeiteinheit durch den Schliessungsdraht einer galvanischen Kette geht, bei gleichbleibendem Widerstande der electromotorischen Kraft proportional ist; oder anders gesagt: ein gegebenes Quantum Electricität bedarf zu seinem Abflusse einer Zeit, die sich in demselben Verhältnisse verkürzt, in welchem die electromotorische Kraft zunimmt. Das Maass der electromotorischen Kraft ist die electrische Differenz oder die Dichtigkeitsverschiedenheit an beiden Endpuncten der offnen Kette. Wir haben also Grund zu dem Schlusse, dass die Entladungszeit einer electrischen Batterie, bei gleicher electrischer Anhäufung, ebenfalls der Dichtigkeit der Ladung umgekehrt proportional ist; dass mithin das mit der zunehmenden Dichtigkeit der Ladung gesteigerte Erwärmungsvermögen nur Folge ist eines beschleunigten Durchgangs der Electricität. — Die Entladungszeit wächst dagegen in geradem Verhältnisse mit der Länge des auf vergleichbares Maass zurückgeführten Schliessungsbogens. Der Werth $\frac{q}{s\left(1 + \frac{l\gamma}{n d^2}\right)} = \frac{1}{z}$ ist folglich nichts anderes als ein Ausdruck für die Zeit z, während welcher eine gewisse als Einheit angenommene Electricitätsmenge entladen wird; oder vielmehr eine Zusammenstellung der Bedingungen, von welchen diese Zeit abhängig ist. Die Grösse des Wärmeeffectes in ein und demselben durch das Luftthermometer geführten Platindrahte lässt sich nunmehr auf die

folgenden einfachen Bedingungen zurückführen. Die Men frei werdenden Wärme nimmt zu, direkt wie die der sich entladenden Electricität und umgekeh die Entladungszeit; oder es ist

$$w = \beta T = \beta \cdot \frac{\alpha q}{z}.$$

418. Abhängigkeit der Erwärmung eines D von seiner Länge, seiner Dicke und von der seines Stoffes. Um die Erwärmungsfähigkeit zweier unabhängig von der Entladungszeit vergleichen zu könne nach dem Vorhergehenden nothwendig, beide gleichzeiti Schliessungsbogen zu bringen, dergestalt dass der Leitung stand desselben unverändert bleibt. Um z. B. den Einfl Länge zu erfahren, wurden nach einander mehrere Drä ungleicher Länge, aber sämmtlich von gleicher Dicke in d thermometer eingeschlossen; in den Kegelklemmen des A wurde jedesmal ein anderes Stück desselben Drahtes b von solcher Länge, dass es mit dem Drahte im Thermometer men 129,7 Linien maass. Der Durchmesser betrug 0,079

Wenn nun die Electricitätsmenge, auf 4 Flaschen vertl einem Abstande beider Kugeln der Maassflasche von 1''', j 7 Entladungen entsprach, wurden nach erfolgter Entlad Batterie nachstehende Anzeigen des Luftthermometers (Pogg. Ann. B. 53. S. 55):

Länge des Drahts im Luftth.	τ	berechnete Länge
123,7	16,2	123,7
96,7	12,3	94,0
67,7	9,1	69,5
42,0	5,6	42,8.

Die erzeugten Wärmemengen verhalten sich wie die Drah wie aus den nach dieser Annahme berechneten Längen zu hervorgeht. Die Wärmemenge der Längeneinheit und folgli die Temperatur, zu welcher die einzelnen Drähte durch Electricitätsmengen bei gleicher Entladungszeit erhoben blieb demnach bei allen Drähten gleich, oder erwies sic hängig von der Länge; ein Resultat, das sich mit Rücks die ganz gleiche Geschwindigkeit des electrischen Stroms i Querschnitte der Drähte im Voraus erwarten liess.

Um den Einfluss der Drahtdicke zu messen, werden Drähte von ungleicher Dicke gleichzeitig im Schliessun und zwar abwechselnd im Luftthermometer und im Ausla geschaltet. So wurden z. B. die folgenden Resultate ge (a. a. O. S. 58):

Länge, des Drahtes	Dicke des Drahtes	τ beobachtet	τ berechnet auf gleiche Längen
86,2	0,0792	12,5	15,3
105,4	0,1610	3,7	3,7.

Die Drahtdicken verhalten sich fast genau wie 1 : 2; die Wärmemengen für gleiche Längen beider Drähte wie 4 : 1; sie stehen also im umgekehrten Verhältnisse zu den Quadraten der Durchmesser, oder im einfachen umgekehrten Verhältnisse der Querschnittsflächen beider Drähte.

Da der Draht von vierfachem Querschnitte im Ganzen nur die Wärmemenge $\frac{1}{4}$ lieferte, so ist es einleuchtend, dass in diesem Drahte, in jeder Einheit des Querschnittes nur $\frac{1}{16}$ Wärme frei wurde; d. h. die Temperaturerhöhung in dem Drahte von doppelter Dicke konnte nur $\frac{1}{16}$ von derjenigen betragen, zu welcher der Draht von einfacher Dicke, unter übrigens ganz gleichen Umständen gelangt war. Die Temperaturen zu welchen gleichartige Metalldrähte von ungleicher Dicke durch gleiche Electricitätsmengen und bei gleicher Entladungszeit erhoben werden, verhalten sich also umgekehrt wie die vierten Potenzen ihrer Durchmesser und sind unabhängig von den Längen der Drähte. Die grössere Wärmeerzeugung in dem Drahte von halber Dicke hat darin ihren Grund, weil durch die Einheit seines Querschnittes eine viermal so grosse Electricitätsmenge in viermal kürzerer Zeit gehen muss, als durch die Einheit des Querschnittes im dickeren Drahte.

Drückt man die Temperaturerhöhung durch den Entladungsschlag in Graden des Quecksilberthermometers aus, so zeigt sie sich im ganzen Umfange der von Riess mitgetheilten Beobachtungen nur unbeträchtlich. Für Platindrähte lässt sie sich annähernd mittelst der Formel

$$T = \frac{\tau}{135,5}\left(\frac{4,537}{l r^2} + 1\right)$$

berechnen, welche jedoch nur für ein Luftthermometer wie das von Riess gebrauchte, dessen Kugel bei 15° C, und dem mittleren Barometerstande 0,5813 Grm. Luft enthält, Geltung hat. Z. B. für den Draht von 86,2 Lin. Länge und 0,0792 Durchmesser, für welchen also $r = 0,0396$, $\tau = 12,5$; findet man $T = 3^{0},19$ Cels. Die 10fache Electricitätsmenge bei derselben Dichtigkeit würde eine Temperaturerhöhung von $31^{0},9$, bei doppelter Dichtigkeit, von $38^{0},8$ hervorgebracht haben.

Bei ungleichartigen Drähten hängt die Wärmeerzeugung insbesondere noch von der Eigenthümlichkeit des Stoffes ab. Um diesen Einfluss kennen zu lernen, verglich Riess einen Platindraht

von 59''',25 Länge und 0''',08196 Durchmesser mit Dräh anderem Stoffe, z. B. mit einem Silberdraht von 110''',08 Lä 0''',08072 Durchmesser, auf die schon vorher beschrieben so dass abwechselnd Platin und Silber im Luftthermomete schlossen wurde.

	τ	$\frac{l}{d^2}$
Platin	19,9	8820
Silber	4,2	16891.

Entfernung beider Kugeln der Maassflasche ½ Linie; dungen, auf 4 Flaschen vertheilt. (Pogg. Ann. B. 45. S. 1

Die auf gleiche Dicke reducirten Längen beider Drähte v sich wie 8820 : 16891 oder wie 1 : 1,915.

Der Platindraht, bei gleicher Dicke und gleicher Länge Silberdraht, würde eine der Zahl 19,9 . 1,915 = 38,1 prop Wärmemenge erzeugt haben. Die Wärmeentbindung im P Silber verhalten sich also wie 38,1 : 4,2 oder wie 1 : 0,11 wie der Leitungswiderstand des Platins zum Leitungswid des Silbers.

Auf ähnliche Weise findet man, dass auch in ander drähten das Quantum erzeugter freier Wärme dem eigenth Leitungswiderstande des Stoffs proportional ist.

Die im Schliessungsdraht einer Batterie durch die el Entladung frei werdende Wärmemenge lässt sich daher a durch die Formel bestimmen:

$$w = \beta \frac{\alpha q}{z} \cdot \frac{l\gamma}{d^2}$$

Die Menge der in einem beliebigen, durcl ganze Länge gleichartigen Theile des Schlies bogens entwickelten Wärme, steht im graden V nisse der sich entladenden Electricitätsmenge umgekehrten der Entladungszeit. Sie nimmt hältnissmässig mit der Länge und dem eige lichen Leitungswiderstande des Stoffs des D und vermindert sich verkehrt wie das Quadrat Durchmessers.

$\frac{l\gamma}{d^2}$ ist das was man den reducirten Leitungswidersta Drahtes nennt. Man kann daher auch sagen: die Wärme gung im Umfange eines jeden einzelnen de schiedenen Drähte, welche gleichzeitig Be theile desselben Schliessungsbogens ausm steht in geradem Verhältnisse zu dem Wider welchen jeder einzeln einem electrischen entgegensetzt.

419. Ungeachtet in der umfangreichen Arbeit, über welche in em Vorhergehenden Rechenschaft gegeben ist, nur die Wärme- irkungen des Entladungsschlages der Batterie in Betracht ge- ommen sind, so war doch zu vermuthen, dass die abgeleiteten esetze für electrische Ströme von jeder andern Quelle ganz leiche Geltung haben müssten. Durch neuere Versuche von Lenz at diese Folgerung eine experimentelle Bestätigung gefunden. Pogg. Ann. B. 61. S. 18.)

Der Draht, dessen Erwärmungsvermögen studirt werden sollte, urde durch ein Glasgefäss geleitet, welches nachher mit reinem Vasser oder mit Weingeist ganz angefüllt wurde, so dass alle heile des Drahtes von der Flüssigkeit umgeben waren und folg- ch der ganze Wärmeeffect des ersteren von der letzteren aufge- ommen werden musste. Alle übrigen Theile des Schliessungs- ogens waren so gewählt, dass sie durch den electrischen Strom icht bemerkbar erwärmt werden konnten. Ging nun ein Strom on bekannter und beständiger Stärke durch den Draht, so er- ärmte sich die Flüssigkeit und ein darin eingetauchtes Thermo- eter zeigte die während einer abgemessnen Zeit erhaltne Tem- raturerhöhung. Daraus liess sich dann die Temperaturerhöhung r die Einheit der Zeit berechnen, welche, wie leicht einzusehen, r innerhalb derselben Zeit freigewordenen Wärmemenge propor- nal ist. Auf diesem Wege hat Lenz nachgewiesen, dass in etalldrähten von verschiedner Länge und Dicke und verschiede- em Stoffe, unter dem Einflusse gleichstarker galvanischer Ströme nd in gleichen Entladungszeiten Wärmemengen frei werden, die n reducirten Leitungswiderständen dieser Drähte proportional nd; dass aber die Wärmeentwicklung in ein und demselben ahte bei verschiedener Stromstärke sich verhält wie das adrat der Stromstärke. Es ist also ganz so wie es schon Riess r den Fall einer electrischen Anhäufung auf stets gleichbleibender erfläche gezeigt hatte:

$$w = a q^2 \frac{l \gamma}{d^2}$$

Da die durch einen constanten Strom bewirkte Wärmeentbin- ng eine beliebige Zeit in unveränderter Stärke fortdauern kann, steigt die Temperatur des Drahts so lange, bis die in jedem genblicke gewonnene Wärme dem gleichzeitigen Verluste nach ssen gleich ist. Es sey $\pi d l$ die Umfangsfläche eines Drahtes, der Wärmeverlust für die Flächeneinheit und 1° Temperatur- ferenz; t diejenige Temperaturerhebung des Drahts über die mperatur der Umgebung, wobei eine vollständige Ausgleichung

tt findet, so ist $\pi d l \varepsilon t = a q^2 \frac{l \gamma}{d^2}$

daher $t = \frac{a}{\pi \varepsilon} \cdot \frac{q^2 \gamma}{d^3}$

Ein in der Luft ausgespannter Draht, der von einem constanten Strom durchlaufen wird, erreicht eine Temperaturhöhe, welche direkt dem eigenthümlichen Leitungswiderstande seines Stoffes und dem Quadrate der Stromstärke, aber umgekehrt der 3ten Potenz seines Durchmessers proportional ist. Länge des Drahts und Wärmecapacität seiner Masse sind ohne Einfluss auf die Stärke des Erglühens.

Die Drahtlänge ist ohne Einfluss hierauf, insofern man Mittel besitzt, die Stromstärke q constant zu erhalten. Da aber für einen gegebnen Electromotor mit der Länge des eingeschalteten Drahts auch der Widerstand zunimmt und folglich die Stromstärke sich mindert, so ist es einleuchtend, dass kurze Drähte bei gleicher Dicke leichter zum Glühen kommen als längere. Gesetzt man bedarf zwei constante Elemente um einen Platindraht von gewisser Länge und Dicke zum Glühen zu bringen, so wird man n mal 2 Paare anwenden müssen, wenn ein gleich dicker aber n mal so langer Draht zu derselben Temperatur erhoben werden soll. Diess ergibt sich nach dem Vorhergesagten als eine einfache Folge des Ohm'schen Gesetzes.

420. Durch die Erwärmung eines Leitungsdrahtes vermindert sich seine Leitfähigkeit. Gesetzt es befinde sich im Kreise einer electrischen Kette ausser dem Galvanometer und dem Regulatordraht noch ein dünnerer Draht eingeschlossen. Man umgebe den letzteren mit Eiswasser, damit seine Temperatur unter dem Einflusse der bewegten Electricität nicht bedeutend erhöht werden kann und regulire den Strom zu einer beliebigen Stärke. Wird die abkühlende Umgebung entfernt, so erhitzt sich der dünne Draht und es muss Regulatordraht abgewunden werden um die anfängliche Stromstärke wieder zu erhalten, um so mehr je stärker sich der eingeschaltete Leiter erhitzt.

Dieser Einfluss der Erwärmung erklärt die folgenden von H. Davy ersonnenen Versuche: Platindraht wird durch einen Strom von passend regulirter Stärke zum beginnenden Rothglühen gebracht; dann erhitzt man eine Stelle dieses Drahtes mittelst der Spiritusflamme bis zum Weissglühen, sogleich vermindert sich die Glühehitze des übrigen Theils und hört selbst ganz auf. Wird dagegen eine Stelle des rothglühenden Drahtes stark abgekühlt, so gelangt der übrige Theil zu einer gesteigerten Glühehitze.

Lenz hat die Leitfähigkeit mehrerer Metalle bei verschiedenen Temperaturen gemessen. (Zu vergleichen N. 460.) Das Hauptresultat seiner Arbeit ist in der folgenden Tabelle enthalten.

	Leitungsfähigkeit für Electricität bei		
	0°	100°	200°
›r	136,25	94,45	68,72
›er	100,00	73,00	54,82
. . . .	79,79	65,20	54,49
. . . .	30,84	20,44	14,78
›ing	29,33	24,78	21,45
a	17,74	·10,87	7,00
. . . .	14,62	9,61	6,76
n	14,16	10,93	9,02

ın sieht hieraus dass die Leitfähigkeit der Metalle durch Tem-rveränderung sehr bedeutend, aber bei verschiedenen Metal-hr ungleich verändert wird. Nach derselben Methode, deren pien jedoch erst später erläutert werden können, sind die den Bestimmungen bei 15° *R* gemacht worden. Leitungs-eit des

Kupfers = 100
Antimons = 8,87
Wismuths = 2,58
Quecksilbers = 4,66.

1. Um die galvanischen Glüh-Phänomene in Vorlesungen zu n, eignen sich Platin- und Eisendrähte, weil sie zu den hteren Leitern gehören, vorzugsweise. Die gewählten Draht-› müssen mit den metallischen Enden der Batterie in mög-gut leitende Verbindung gebracht werden, die man mittelst ubenklemmen oder auch durch mehrmaliges Umwickeln und ıltiges Reinigen an den Berührungsstellen leicht erhalten Lässt man mehrere Stücke von Platin- und Kupferdraht, von gleicher Dünne mit einander abwechseln, so erglühen tliche Platinstücke bei einer Stromstärke, wobei die Kupfer-› sich wohl erhitzen aber nicht zum Glühen kommen. Mittelst kräftigen Kohlenbatterie von wenigstens 20—30 Paaren t Eisendraht N. 6. auf 2—3 Fuss Länge fast momentan zum ›glühen und zerfällt unmittelbar darauf in zahllose glänzende chen. Stahlfedern verbrennen mit Funkensprühen, ähnlich m Sauerstoffgase. Quecksilber beginnt im Augenblicke des ıchens der Poldrähte mit lebhafter Flamme zu brennen. — man die Enden der Poldrähte mit einem Stückchen Eisen-verbindet und Schiesspulver darauf streut, so entzündet sich lbe im Augenblicke des Schliessens der Kette. Man hat die-ıntzündungsmittel mit dem besten Erfolge benutzt um das gen von Felsen, besonders unter Wasser, nicht nur zu er-ern sondern auch weit gefahrloser zu machen. Die Leitungs-

drähte, dicke Kupferdrähte und nur durch ein kurzes Stückchen Eisendraht zusammenhängend, sonst überall aufs sorgfältigste (z. B. durch Umwickeln des einen Drahts mit Papier) getrennt erhalten, werden in das Bohrloch eingesetzt, man schüttet die erforderliche Menge Pulver zu und füllt den Rest des Loches mit Sand aus. Man kann den Draht auf diese Weise zugleich durch mehrere Ladungen führen, die dann, im Augenblicke da man die Kette schliesst, alle gleichzeitig abbrennen. Vier Kohlen-Zink-Paare sind zu diesem Gebrauche gewöhnlich hinreichend.

Die Hitze zwischen den Polen grösserer Batterien von 30 und mehr Paaren ist so gross, dass man in kleinen Tiegeln gebildet aus Coaks oder aus derselben Masse, woraus die Kohlencylinder verfertigt werden, die schwerflüssigsten Metalle in Mengen von mehreren Grammen sehr bald zum Schmelzen bringen kann.

Wenn der Strom einer solchen kräftigen Säule zwischen Kohlenspitzen übergeht, so entwickelt sich ein Lichtglanz der dem des Sonnenlichtes kaum nachsteht. Die Verbrennung der Kohle hat keinen Antheil an dieser Erscheinung, denn dieselbe findet im leeren Raume noch in verstärktem Grade statt. Die präparirte Kohle der Kohlencylinder eignet sich sehr gut zu diesem Versuche; Holzkohle stark ausgeglüht und dann in Wasser abgelöscht giebt aber nach de la Rive das schönste Licht.

Sind die Kohlenspitzen durch Berührung einmal zum Glühen gebracht, so lassen sie sich je nach der Stärke der Batterie von einigen Linien bis auf mehrere Zolle von einander entfernen, ohne dass die Fortdauer des Stroms unterbrochen wird. Dabei bemerkt man zwischen beiden Spitzen einen leuchtenden Bogen und ein Ueberführen glühender Theilchen vom positiven zum negativen Pole. Mit einer grossen Batterie von 2000 Paaren erhielt H. Davy in der Luft einen Lichtbogen von 4 Zoll, im leeren Raume von 7 Zoll Länge. Dieselbe Erscheinung nur in sehr verminderter Stärke zeigt sich auch zwischen Metallspitzen; auch hier scheint der Lichtbogen durch den Uebergang glühender materieller Theilchen gebildet zu seyn.

Es ist bestimmt nachgewiesen worden dass die dünnste messbare Luftschicht zwischen den Polen, selbst ziemlich grosser electrischer Säulen den Uebergang des Stroms vollkommen unterbricht, dass also die electrische Spannung an den Polen nicht gross genug ist, um das Ueberspringen eines Funkens durch die Luft möglich zu machen (Jakobi in Pogg. Ann. 44. 633). Der Schliessungs- und Trennungsfunke der galvanischen Kette kann folglich nur in einem durch den Uebergang des Stroms bewirkten Erglühen, zuweilen auch Verbrennen der äussersten Berührungspuncte bestehen, vollkommen ähnlich dem Erglühen eines feinen Drahtes, der die Enden einer galvanischen Kette verbindet.

Da der überschlagende Funke stark gespannter Electricität benfalls von einer bedeutenden Temperaturerhöhung begleitet ist 319), so haben einige Physiker die Meinung geltend zu machen esucht, dass das Leuchten während des Ueberspringens durch in Erglühen der Lufttheile bewirkt werde; andere halten für wahrscheinlicher, dass das electrische Licht durch glühende fortgeführte Theile des Leiters selbst, aus dem es hervorbricht, entstehe. Für die erstere Ansicht spricht der Umstand, dass die Färbung des electrischen Lichtes in verschiedenartigen Gasen und Dämpfen nicht immer dieselbe bleibt und dass der Glanz desselben n verdichteter Luft zunimmt, in verdünnter sich vermindert.

Thermoelectricität.

422. Eine geschlossene Metallkette, z. B. ein Kupferdraht, dessen beide Enden durch einen Streifen Zink verbunden sind, gibt bekanntlich keinen electrischen Strom, weil die erregenden Kräfte (wenn man so will: die electrischen Gefälle) an beiden Berührungsstellen sich im Gleichgewichte halten. Die geringste Temperaturverschiedenheit stört jedoch dieses Gleichgewichtsverhältniss und bewirkt das Auftreten eines electrischen Stroms.

Man setze die beiden Enden eines Multiplicatordrahts, ohne sie zu erwärmen, in Berührung mit einem Stücke irgend eines andern Metalls, und nachdem man sich von der Abwesenheit electrischer Ströme überzeugt hat, erwärme man die eine Verbindungsstelle. Die Nadel wird bald aus ihrer Ruhelage abgelenkt werden und, je nach dem Grade ihrer Empfindlichkeit und der Stärke der Erwärmung einen mehr oder weniger grossen Bogen beschreiben; nach der rechten oder linken Seite, je nach dem die Temperatur der einen oder der andern Berührungsstelle erwärmt worden war. Man kann diesen Versuch beliebig oft wiederholen; der Erfolg bleibt immer gleich, und zwar ohne irgend eine früher oder später sichtbar werdende Mitwirkung chemischer Veränderungen. Diess stellt sich am deutlichsten dann heraus, wenn man beide Metalle zusammengelöthet hatte.

423. Zur Hervorbringung dieser Art der Berührungselectricität können die verschiedenartigsten Metall-Verbindungen gebraucht werden; Richtung und Stärke des entwickelten Stroms lassen sich jedoch nicht wie bei den galvanischen Ketten aus der chemischen Natur der verbundenen Leiter vorhersehen.

Man bringe eine Antimonstange zwischen beide Enden des Multiplicator-Kupferdrahts und erwärme die eine Berührungsstelle. Der hierdurch erzeugte Strom bewegt sich von dieser Stelle aus durch das Antimon zu der nicht erwärmten Berührungsstelle und kehrt durch den Kupferdraht zu seinem Ursprunge zurück. Vertauscht man das Antimon mit Wismuth, so findet das

Umgekehrte statt, d. h. der Strom geht jetzt von der erw
Stelle durch den Kupferdraht zu der nicht erwärmten. W
Multiplicatordraht durch ein Antimon-Wismuth-Paar gescl
so dass drei Uebergangspuncte entstehen nämlich: Kupfe
mon, Antimon-Wismuth und Wismuth-Kupfer, und erwär
immer nur eine derselben, während die beiden andern kalt l
so geht der Strom von der erwärmten Stelle im ersten F
nächst in die Antimonstange, im zweiten ebenfalls in die A
stange, also in einer der vorhergehenden entgegengesetzte
tung, im dritten nach derselben Richtung wie im erste
nämlich von der erwärmten Stelle in den Kupferdraht.

Die erregenden Kräfte in der ersten und dritten Berührun
unterstützen sich hiernach, wenn beide Puncte zugleich e
werden. Da nun durch gleichzeitige und gleichstarke Tem
erhöhung sämmtlicher Uebergangspuncte gar kein Strom e
so muss man schliessen, dass die erregende Kraft an dem z
gleich ist der Summe der erregenden Kräfte an dem erst
dritten. Hatte man dafür gesorgt, die Temperatur-Unterschi
diesen Versuchen stets gleich zu erhalten; war z. B. je ei
bindungsstelle der Temperatur des siedenden Wassers aus
während man die beiden andern mit schmelzendem Eise
so erweist sich in der That die Summe der Stromstärken,
durch Erwärmung der Berührungsstelle Kupfer-Antimon u
Wismuth-Kupfer erhalten wird, gleich der Stärke des du
wärmen der Stelle Antimon-Wismuth erzeugten Stroms.

Irgend zwei andere Metalle statt Antimon und Wism
dem Multiplicatordraht verbunden zeigen im Allgemeinen
liches Verhalten, d. h. man wird immer finden, dass die du
peraturverschiedenheit bewirkte electrische Erregung
Berührungsstelle, gleich ist der Summe der unter denselb
ständen an den beiden andern Stellen eintretenden Erregu

Wird die geschlossene Kette des Multiplicatordrahts a
grösseren Zahl Metalle in willkührlicher Folge zusammen
z. B. Kupfer, Antimon, Wismuth, Zinn, Eisen, Silber u. s.
ändert sich, je nach der Wahl der Verbindungsstelle die
wärmt, Richtung und Stärke des Stroms, immer jedoch i
durch eine bestimmte Temperaturverschiedenheit herbeig
electrische Uebergewicht einer Berührungsstelle gleich
gebraischen Summe der durch dieselbe Temperaturerhöhu
wirkten Erregungen aller übrigen Stellen.

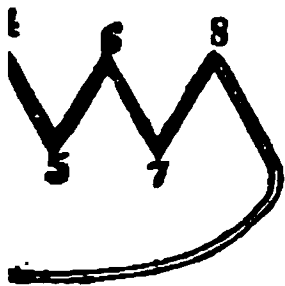
Wenn man Stäbe von den folgenden Metallen: Wismu
tin, Zinn, Blei, Messing, Gold, Kupfer, Silber, Zink, Eisen, A
Antimon, in der Ordnung, wie sie hier nach einander geset
an einander löthet, so gehen die durch Erwärmung der Löt
erzeugten Ströme sämmtlich nach gleicher Richtung, näm
der Richtung vom Wismuth abwärts zum Antimon. Die

ge Erwärmung aller zwischen Wismuth und Antimon
Uebergangspuncte erhaltene Stromstärke ist folglich die
elche mit Hülfe der genannten Metalle überhaupt erreicht
ınn. Sie ist gleich und entgegengesetzt der durch Er-
der Verbindungsstelle Antimon-Wismuth (während näm-
ıdern kalt bleiben) gebildeten Stromstärke.

n und Wismuth bilden also die Endpuncte einer Reihe,
annten thermoelectrischen Reihe, welche das Eigen-
hat, dass ein beliebiges Glied derselben, wenn sein Be-
unct mit einem der folgenden Glieder erwärmt wird,
trischen Strom von der erwärmten Stelle zu diesem fol-
etalle sendet. Die Stellung der verschiedenen Metalle in
oelectrischen Kette ist bei weitem noch nicht mit genü-
llständigkeit ermittelt. Der Grund liegt wohl darin, weil
den ein Metall in der Reihe behauptet, durch fremde
ngen sogleich, und oft sehr bedeutend verändert wird.
ngen, in der Masse eines Metalls ungleich vertheilt, sind
hrscheinlich auch die Ursache, warum manche anschei-
chartige Metallstäbe, an gewissen Stellen erwärmt,
electrische Ströme hervorbringen.

Antimon-Wismuth-Kette die kräftigsten thermoelectri-
egungen zulässt, so werden diese beiden Metalle zur
ermoelectrischer Ketten vorzugsweise verwendet. Beide
h schlechte Leiter; die gewählten Stäbe müssen dess-
und dick seyn. Wenn man an beiden Enden eines Stabs
ıon oder Wismuth, von 6 Zoll Länge und 4—6 Linien
Dicke, einen dicken, in Form eines Rechtecks
(Fig. 169) gebognen Kupferdraht einschmilzt, und
die eine Löthstelle mit der Spiritusflamme erhitzt, so
wirkt der hierdurch erzeugte Strom unmittelbar
auf eine in der Mitte des Rechtecks schwebende
Magnetnadel.

ie Triebkraft der thermoelectrischen, am besten der An-
muth-Kette lässt sich bedeutend vergrössern, wenn man
vechselnd von dem einen und andern Metalle auf einan-
lässt, so geordnet, dass alle geraden Löthstellen nach



g. 170.

einer Seite, alle ungeraden nach der an-
dern gekehrt sind. Eine solche Vorrich-
tung (Fig. 170) wird thermoelectri-
sche Säule genannt. Es ist einleuchtend,
dass durch Erwärmung der einen Seite
derselben, z. B. aller geraden Löthstellen,
die hierdurch entstehenden erregenden
Kräfte einander unterstützen.

det man die Endpuncte der Säule mit dem Multiplicator-
erwärmt zuerst nur eine einzige Verbindungsstelle, z. B.

die zweite, während alle übrigen einer beständigen niedere peratur ausgesetzt bleiben, dann die zweite und vierte gleic dann drei ähnlich liegende zugleich u. s. w., so ergibt sic die entsprechenden Stromstärken sich verhalten wie die der erwärmten Löthstellen. In allen Fällen erhält man Strö unveränderlicher Stärke, so lange die Temperaturunte unverändert erhalten werden.

Wegen dieser Beständigkeit der thermoelectrischen Ströme und d tigkeit, sie erforderlichen Falls genau von derselben Stärke immer w erhalten, eignen sie sich vorzugsweise zum Studium des Ohm'schen In der That ist dasselbe vom Dr. Ohm zuerst mit Hülfe der thermoele Ströme nachgewiesen worden und man hat einige Zeit geglaubt, das nur für solche Ströme Geltung hätte, bis die Möglichkeit, beständig auch durch Galvanismus zu erzielen, jeden Zweifel in dieser Hinsicht

Die thermoelectrische Kette und ihre Wirkungen auf die Magnetn vom Dr. T. J. Seebeck im Jahre 1822 entdeckt worden.

425. Die bewegende Kraft der thermoelectrischen Kett glichen mit derjenigen einer gewöhnlichen Volta'schen S ganz ausserordentlich gering; Bewegungshindernisse, L widerstände, welche bei der letzteren kaum oder gar nich nehmbar sind, können daher bei den ersteren nicht meh achtet bleiben. Alle Uebergangsstellen müssen durch m innige Berührung rein metallischer Flächen, am beste Zusammenlöthen bewerkstelligt, alle Verbindungsdrähte wie möglich und dick seyn. Multiplicatordrähte (Kupfe Silberdrähte), welche vorzugsweise zum Messen therm scher Ströme dienen sollen, erhalten gewöhnlich bei eine von 150 bis höchstens 200 Umwindungen eine Dicke vo fähr 1 Millimetre. Multiplicatoren aus sehr langen und Drähten gefertigt, die sich durch ihre grosse Empfindlichke die geringsten Spuren galvanischer Einwirkungen auss sind als Anzeiger thermoelectrischer Ströme fast unbrauch

Wenn es sich darum handelt, eine möglichst grosse Ein auf die Nadel zu erreichen, erfordert eigentlich jede beson electrischer Ketten auch eine besondere Beschaffenheit de plicatordrahts; denn Stoff und Gewicht der Drahtmasse ein stimmt, lehrt das Ohm'sche Gesetz, dass ein Maxim Effectes erhalten wird, wenn der Leitungswiderstand alle plicatorwindungen zusammengenommen eben so viel betr derjenige der electrischen Kette mit Einschluss ihrer Verbi drähte*). Im Inneren einer Thermo-Kette, bei welcher g

*) Es sey R der reducirte Leitungswiderstand sämmtlicher The geschlossenen Kette, mit Ausnahme des Multiplicatordrahts; n die Anz dungen, nl die ganze Länge des letzteren; f der Querschnitt des Drah Leitungswiderstand seines Stoffes, endlich K die Triebkraft des Stroms, sich die Grösse der ablenkenden Kraft des Multiplicators darstellen du

$$Q = \frac{nK}{R + \frac{nlw}{f}}$$

Metallverbindungen vorkommen, kann der Leitungswider-
cht sehr gross seyn und wird desshalb von dem des Mul-
drahts, wenn dieser nicht kurz und dick ist, leicht
en. Dagegen galvanische Ketten von geringer Wirksam-
. eine Zink-Kupferkette mit Wasser, äussern gewöhnlich
ihrem eignen Umfange einen so grossen Leitungswider-
ass vergleichungsweise der eines, wenn auch dünnen
hts kaum in Betracht kommt. Die Multiplicatordrähte
also in diesem Falle sehr lang und von sehr geringem
sser seyn um eben so viel Widerstand wie die Kette
bewirken.

Die thermoelectrischen Ströme, ungeachtet der geringen
rer Triebkraft, sind fähig auch flüssige Leiter zu durch-
wovon man sich leicht überzeugt, wenn man neben der
eit einen recht empfindlichen Multiplicator in die Kette
sst. Eine Auflösung von Kupfervitriol in welche Kupfer-
eingetaucht sind, oder Zinkvitriol mit eingesenkten Zink-
gestatten selbst dem wenig intensiven durch Einwirkung
lflamme auf eine Säule von 30—40 Antimon-Wismuth-
rregten Strom mehrere Stunden hindurch einen unverän-
rchgang. Die dabei eintretende Zersetzung geht indessen,
ch unverkennbar, doch nur sehr langsam vor sich. Es ist
on einleuchtend, dass verdünnte Schwefelsäure, als der
Leiter, noch leichter von dem Thermo-Strome durchdrun-
, und diess zeigt auch die Erfahrung. Wegen der Polari-
r Platinstreifen erfolgt jedoch eine rasche Verminderung
astärke, wodurch der direkte Nachweis der Wasserzer-
erschwert wird. Schwefelsäure ist daher nicht die geeig-
üssigkeit um als Beweismittel zu dienen, dass dem ther-
ischen Strome die Fähigkeit, chemische Zersetzungen zu
, nicht fehlt.

man Muskel und Nerv eines präparirten Froschschenkels
i Drähten desselben Metalls berührt, und die direkte Ver-
der beiden andern Drahtenden keine Bewegung des
henkels mehr hervorbringt, so kann derselbe durch Ein-

---

rner das Gewicht der Drahtmasse: $G = nlf\gamma$; (γ bezeichnet ihre
t) daher $f = \frac{G}{nl\gamma}$. Wird dieser Ausdruck von f in die vorhergehende
substituirt, so erhält man:

$$Q = \frac{nK}{R + \frac{n^2 l^2 w\gamma}{G}} = \frac{KG}{l^2 w\gamma} \times \frac{n}{\frac{RG}{l^2 w\gamma} + n^2}$$

nun leicht, dass Q ein Maximum wird für $n^2 = \frac{RG}{l^2 w\gamma}$, d. h. wenn der
ordraht so gewählt wird, dass sein Widerstand dem des übrigen
Kette gleichkommt.

führung eines thermoelectrischen Stroms noch in starkes Zuc
gerathen. Nach Nobili entsteht ein solches Zucken selbst d
schon, wenn man das freie Ende des einen der mit Muskel
Nerv verbundenen Drähte erhitzt und mit dem andern nicht
hitzten in Berührung setzt.

Weit schwieriger ist es, Spannungswirkungen der the
electrischen Säule zu erkennen, denn sie sind so gering, dass
durch den Condensator verstärkt, selbst auf das feinste Goldb
electrometer keinen Eindruck hervorbringen. Mit Hülfe eines
empfindlichen Bohnenberger'schen Electroscops ist jedoch
dem Condensator ertheilte Ladung deutlich wahrnehmbar, w
man dazu eine Säule von 32 Antimon-Wismuth-Paaren gew
und die eine Hälfte der Löthstellen mit siedendem Wasser erh
die andere stark abgekühlt hatte. Ungeachtet dieser äus
schwachen Spannung ist es durch besondere Vorkehrungen
lungen, mit der Thermo-Säule electrische Funken zu erha
(Pogg. Ann. B. 41. S. 160.)

427. Man macht von den thermoelectrischen Strömen
höchst wichtige Anwendung zur Entdeckung und Messung f

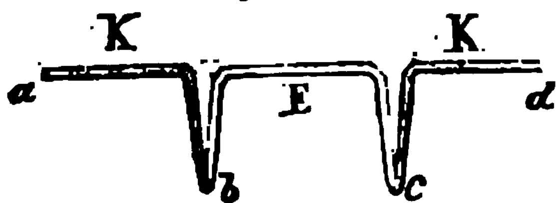


Fig. 171.

Temperaturunterschiede. Ein dicker I
oder Streifen, so wie Fig. 171 zeigt
bogen und aus drei Stücken, z. B. Ei
draht der an den beiden Enden *b* u
mit Kupferdraht in Berührung steht
sammengesetzt, werde mit den Mul
catorwindungen eines zur Prüfung thermoelectrischer St
zweckmässig ausgeführten Galvanometers mit astatischer Dop
nadel verbunden. Man umgebe die eine Löthstelle z. B. *b*
schmelzendem Eise, die andere mit reinem Wasser von folgewe
höherer Temperatur. Die Nadel wird bei jeder Aenderung
Temperaturunterschiedes eine andere feste Stellung einneh
und die ihren Ablenkungen entsprechenden Stromstärken wer
sich verhalten wie die Temperaturunterschiede selbst; so la
wenigstens als man die Gränze von 50° nicht überschr
(Becquerel). Für geringere Intervalle von höchstens 5—6
den findet man, von der absoluten Temperaturhöhe sogar g
unabhängig, eine genaue Proportionalität zwischen den Temp
turanwüchsen und den dadurch erzielten Stromstärken. (Mell
in Pogg. Ann. B. 38. S. 16.)

Die beschriebene Vorrichtung ist also ein wirkliches Differ
zialthermometer, dessen Angaben aus den Ablenkungen ei
Magnetnadel erkannt werden.

Hat man zu der Thermokette *abEcd* dicke Drähte von ge
ger Länge gewählt, so bedarf auch der Multiplicator nur wen
Windungen eines dicken Kupferdrahts. Ist zudem die Dop
nadel fast astatisch und nur an einem wenigstens 5—6

Coconfaden aufgehängt, so gewinnt man ein Differenzial-
cop von überraschender Empfindlichkeit. In der That ist
t dahin zu kommen, dass eine Temperaturdifferenz beider
len von nur einem Grade die Nadel um 20 und mehr Grade

gelingt es nicht, die Nadel befriedigend astatisch zu ma-
Man thut dann wohl, einen kräftigen geraden Magnetstab
Richtung des magnetischen Meridians und in passender
ng von dem Galvanometer so aufzustellen, dass die Wir-
es Erdmagnetismus, so weit es erforderlich scheint, ent-
wird.

h Anwendung der Thermo-Säule anstatt eines einzigen
lässt sich die Empfindlichkeit noch weit höher treiben. Die
72 gibt eine Ansicht, die Figur 173 einen Längendurch-

Fig. 172.

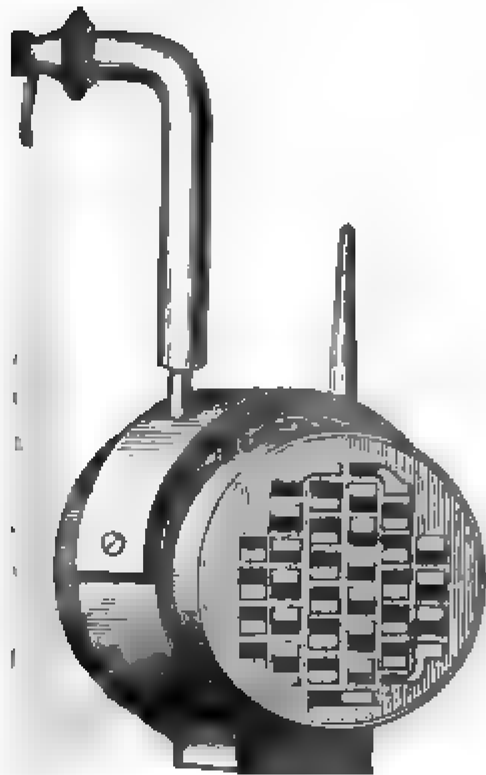


Fig. 173.



in natürlicher Grösse einer vorzugsweise zu diesem
bestimmten Säule. Sie besteht aus 35 Paaren Antimon-
muthstäben von prismatischer Form, abwechselnd unter
harfen Winkeln an einander gelöthet, so dass sie einander
den Löthungsstellen berühren, und in mehreren parallelen
geordnet, die an den benachbarten Enden zusammenhän-
ine einzige Metallkette bilden. Hierdurch erhält das Ganze
ır eines prismatischen Stabs mit ebenen Endflächen von
adratcentimetre. Die eine dieser Endflächen enthält alle
, die andere alle ungeraden Löthstellen. Die einzelnen
äben eine Länge von 32 Millimetre bei 2,5 mmtre Breite

und 1 mmtre Dicke. Um sie in der beschriebenen Lage dauern zusammenzuhalten, sind sie in einen Ring von Messing eingeschoben und mit Kork darin befestigt. Ein gegen die Richtung der Stäbe senkrechter und mit einem Gelenke versehner Stiel (Fig. 174) an diesem Ringe wird in einen aufrecht stehenden Träger eingelassen und kann darin mittelst einer Schraube in verschiedenen Höhen festgestellt werden. Diese Anordnung macht es möglich, die Säule in jede beliebige Richtung zu bringen und dadurch die eine ihre Flächen dem Einflusse einer Wärmequelle so gegenüberzustellen, dass die andere davon nicht getroffen werden kann. An der oberen Seite des Ringes befinden sich zwei etwas konisch zulaufende Stifte, welche die Ausgänge der Säule bilden. Sie werden mit den Enden des Multiplicatordrahts verbunden, so oft man das Instrument in Thätigkeit setzen will. Die Einrichtung dieser Thermosäule ist hauptsächlich darauf berechnet, die Einwirkungen der aus mehr oder weniger entfernt liegenden Quellen ausgehenden parallelen Wärmestrahlen zu messen. Um nun im Laufe eines Versuchs alle seitwärts und zufällig zuströmende Wärme abhalten zu können, ist an jeder Seite des Ringes ein 6 Centimetre langes, mit einem Deckel versehenes und inwendig geschwärztes Rohr angebracht. Beabsichtigt man dagegen die von irgend einem wärmeren Gegenstande ausgehenden Strahlen auf der einen Fläche der Säule in möglichst grosser Menge aufzufangen, so vertauscht man das eine cylindrische Rohr mit einem kegelförmigen Reflector von polirtem Messing (Fig. 175), von 12—15 Centimetre Länge und 20°—25° Steigung der Seiten.

Fig. 174.

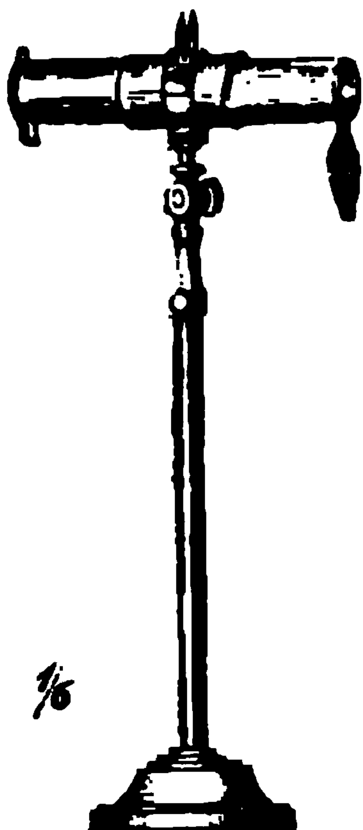
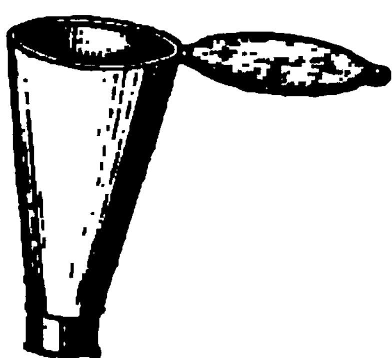


Fig. 175.



Richtet man diesen Reflector in einem Abstande von 20 und mehr Fussen gegen einen warmen Ofen, oder hält man in einiger Entfernung die Hand vor denselben, so gibt sich die dadurch bewirkte Erwärmung der einen Fläche der Säule sogleich durch einen starken Ausschlag der Nadel zu erkennen. Die verschiedenen Wände eines Zimmers besitzen gewöhnlich nicht ganz gleiche Temperatur, dreht man nun den Reflector gegen die eine oder andere Wand, so wird man fast immer eine Ablenkung wahrnehmen, bald eine Erhöhung, bald eine Erniedrigung der Temperatur unter die mittlere der Säule anzeigend.

Durch die Verbindung des Multiplicators mit der Thermo-Säule, beide in den richtigen Verhältnissen ausgeführt, ist es, wie man sieht, gelungen ein Differenzialthermometer von ganz ausserordentlicher

'osser Empfindlichkeit darzustellen. Nobili, der den desselben zuerst eingeführt hat, hat ihm den Namen Multiplicator gegeben. Eine Vergleichung seiner ıkeit mit der des Leslie'schen Differenzialthermoscops, nz zum Vortheile des ersteren ausgeht und aus der es ılich wird, dass die empfindlichsten Thermo-Multiplica- ı $^{1}/_{6000}$ eines Reaumür'schen Grades anzeigen, findet ;g. Ann. B. 27. S. 455.

'er thermoelectrische Strom theilt mit der bewegten aus jeder andern Quelle die Eigenschaft, die Leiter durchdringt zu erwärmen. Die Wärmeentbindung ist n den meisten Fällen zu gering, um deutlich wahrnehm- n, weil die Thermoströme wegen der geringen Stärke ›kraft nur von dicken Drähten in bedeutender Menge sen werden. Sie lässt sich gleichwohl nachweisen, den Strom durch ein Luftthermometer führt, in welchem Platindraht ausgespannt ist, oder auch indem man die- rgend einen andern dünnen der Kette eingeschalteten einen Fläche einer recht wirksamen Thermo-Säule so möglich bringt. Die Richtung, in welcher der Strom Draht geht, hat keinen Einfluss auf den Grad seiner ;.

hat die merkwürdige Beobachtung gemacht, dass die ;sstelle zweier ungleichartiger Metallstücke je nach der les Stroms eine ungleiche Temperatur annimmt. Diese ıg zeigt sich übrigens nicht nur unter dem Einflusse trischer, sondern überhaupt aller electrischer Ströme, sie verhältnissmässig zum Querschnitte der Leiter keine ›nsität haben, weil die immer statt findende Erwärmung lhstelle begränzenden Theile beider Metalle unter dem tarker Ströme eine so beträchtliche Höhe erreicht, dass ıs eigenthümliche Verhalten der Löthstelle selbst leicht rird. Man bemerkt dieses Verhalten in sehr auffallendem den Löthstellen einer Thermo-Säule aus Antimon- und äben, deren Ausgangspuncte man zuvor mit dem Multi- ›rbunden hatte, bis völliges Gleichgewicht der erregen- eingetreten war. Wird nämlich irgend ein schwacher r Strom wenn auch nur einige Augenblicke durch diese itet, dann unter Abschluss der Stromquelle die Verbin- lem Multiplicator wieder hergestellt, so findet jezt eine ›nkung der Nadel statt, rechts oder links, je nach der ı welcher der electrische Strom durch die Säule geführt ır.

Beschaffenheit der hierbei auftretenden Temperaturver- ı näher zu prüfen, stelle man zwei Thermo-Säulen ein- ıhe gegenüber, dass ihre zugewendeten Löthstellen fast

in Berührung kommen. Die eine (*a*) verbinde man sods dem Multiplicator, durch die andere (*b*) leite man den Stroı Daniell'schen Zink-Kupferpaars. Die Nadel des Galvanı wird sich sogleich in Bewegung setzen, und zwar im Sinı Erwärmung der einander zugewendeten Flächen beider mente, so oft der Strom durch die betreffenden Löthstel Säule (*b*) in der Richtung vom Antimon zum Wismuth sein nimmt, dagegen im Sinne einer Temperaturerniedrigung, w Richtung des Stroms die umgekehrte ist. Die im letztere eintretende Abkühlung ist übrigens so beträchtlich, dass des Thermo-Multiplicators bedarf um sie wahrzunehme man das cylindrische Behälter eines gewöhnlichen Quec thermometers auf die durch die Löthstellen gebildete Flä sinkt der Quecksilberfaden ungeachtet die Wärmemittheiluı diesen Umständen nur sehr unvollkommen seyn kann, uı halben bis zu einem ganzen Grade.

Es leuchtet hieraus ein, dass der durch eine thermoele Kette gehende Strom abwechselnd die eine Löthstelle e und die andere abkühlt und zwar in der Weise, dass daduı erregende Kraft im entgegengesetzten Sinne der ursprün hervorgebracht wird.

Peltier entdeckte ein derartiges Verhalten ganz allgeı den Berührungsstellen von je zweien ungleichartigen M Immer nämlich zeigte sich der Grad der Erwärmung ein stelle nicht bloss von der Stärke, sondern auch von der R des Stroms abhängig. Jedoch nicht bei allen Verbindung gelang es je nach der Stromrichtung abwechselnd Wärm Kälte zu erzeugen.

(Ann. de Ch. et de Ph. 56. auch Dove Repertor. I. S.

Durch das eigenthümliche Verhalten der Löthstelle zweier Metal Lenz zu dem folgenden bemerkenswerthen Versuche geleitet: Zwei vi Stangen von Wismuth und Antimon von 0,4 Zoll Seite wurden am el an einander gelöthet, und an der Löthstelle selbst ein Loch eingebo Stange wurde, mit Ausnahme der Löthstelle mit schmelzendem Schnee und das Loch mit Wasser gefüllt. Letzteres so wie die Stange selb dadurch bald die Temperatur von 0°. Als hierauf ein electrischer S Stange von W. nach A. durchlief, gefror das Wasser nach 5 Minuten vol dabei sank die Temperatur desselben auf — 3°,5.

428. b. Pyro-Electricität (Wärme-Electricität kry scher Körper). Gewisse krystallinische Körper besitzen die schaft, durch Temperaturveränderung electrisch zu werden. Verhalten darf jedoch mit den vorher betrachteten thermo schen Erscheinungen, womit es, wenn man von der äusser anlassung seines Auftretens absieht, nichts gemein zu scheint, nicht verwechselt werden.

Man nennt einen Krystall pyroelectrisch, wenn er w einer Aenderung seiner Temperatur die beiden Electricit

ıten Stellen hervortreten lässt. Je zwei solcher entgegen-electrischer Stellen werden Pole genannt, und eine Linie, zwei Pole verbindet, electrische Axe des Krystalls. An ler beiden Pole einer Axe treten nach einander beide täten auf, indem nämlich ein Pol, der während der Erwär-ie eine Electricitätsart zeigt, bei der Abkühlung die entge-tzte frei werden lässt. Wird die Temperatur desselben , gleichgültig bei welcher Höhe, beständig erhalten, so unelectrisch. Man kennt jetzt eine ziemlich beträchtliche jedoch wie es scheint nur unsymmetrisch gebildete Kry-velche das Vermögen besitzen pyroelectrisch zu werden. amen theils natürlich vor, wie Turmalin, dessen pyro-hes Verhalten schon in früher Zeit bekannt war, Kiesel-z, Axinit, Titanit, Schwerspath, Bergkrystall, Borazit, Rhodizit u. a. m.; theils sind sie künstlich , wie Zucker, Weinsäure, neutrales weinsaures ewöhnlich besitzen sie nur eine electrische Axe; einige azit und Rhodizit besitzen deren auch mehrere.

e Grade der Electricität finden sich besonders bei hell gefärbten und tigen Turmalinkrystallen, welche im Inneren rein und nicht klüftig electrische Axe des Turmalins fällt mit der krystallographischen Axe chsseitigen Prisma's zusammen. Ihre electrische Polarität lässt sich ungleichen Einwirkung beider Endpuncte auf das Electroscop (am s Bohnenberger'sche) leicht erkennen, wenn der zuvor gleich-rwärmte Krystall in der Mitte mit einer Zange gefasst und dann das r andere Ende an den Stift des Electroscops gelegt wird. Zerstückelt n polarisch gewordenen Turmalin, so zeigt, während noch die Tempe-Sinken begriffen ist, jedes einzelne Stück dieselbe Polarität, und zwar ch mit verhältnissmässig stärkerer Intensität, als der ganze Krystall. s durch Zerstossen des Krystalls gebildete Pulver wird electrisch, seine Temperatur steigt oder sinkt; so dass man vermuthen muss, kleinsten Krystalltheilchen die Fähigkeit besitzen polarisch zu wer-Aepinus hat zuerst das pyroelectrische Verhalten des Turmalins er-elches später von Häuy und Brewster auch bei andern Krystallen et wurde. Die neuesten Untersuchungen über diesen Gegenstand ver-n Becquerel (Pogg. Ann. 13. 628), Köhler (P. A. 17. 150), G. Rose . 285), Hanckel (P. A. 49; 50; 53; 56 u. 61), G. Rose u. P. Riess . 351; 61. 659).

Electromagnetismus.

. Von den Wirkungen electrischer Ströme auf die Magnet-t früher nur so weit die Rede gewesen, als nöthig war um brauch der hierauf gegründeten Messinstrumente verstehen nen. Bekannt mit den erforderlichen Hülfsmitteln um Ströme llkommner Beständigkeit, so wie von beliebiger Stärke und ervorzubringen, wollen wir jetzt die electromagnetischen nungen und ihre Gesetze mit grösserer Ausführlichkeit n.

Um zuerst die Richtung der magnetischen Kraft unmittelbar und unabhängig von jedem fremden Einflu zu lernen, nehmen wir eine astatische, z. B. die Sc astatische Magnetnadel und führen einen geradlinig

Fig. 176.



draht durch welchen der gleichlaufend mit ihrer Sc ebne. Es bezeichne *ab* (F Stellung des Drahts gegen Mittelpunct *o* schwingende Pfeil die Richtung des Stro del wird sich nach einigen winkelrecht gegen die Str len; der Nordpol zur Linken ihres Stützpunctes, je nachdem der Strom über od Schwingungsebne läuft. Nur in einem einzigen Falle. lich der Draht in die Schwingungsebne selbst zu li bleibt die Nadel astatisch; d. h. die Wirkung des Str selbe ist Null, während in den beiden zuerst betrach des Drahts entgegengesetzte Wirkungen eintraten.

Dieses Verhalten lässt keine andere Erklä die, dass die bewegte Electricität in der Rich Bewegung selbst keine magnetische Kraft äu vielmehr die Richtung ihrer Wirksamkeit g beliebigen Magnetpol, auf der durch diesen Stromlinie gebildeten Ebne rechtwinklig ste dass der Pol bei freier Beweglichkeit und Nordpol ist, links von der Ebne getrieben wi rechts, wenn es ein Südpol ist *).

Wir wollen die durch einen Magnetpol und dur Stromlinie, ihrer Lage nach festbestimmte Ebne, d ebne des geradlinigten Stroms bezogen auf dies

430. Wenn die Pole einer Magnetnadel aus Schwingungsebne nicht heraustreten sollen, so ka welche gegen die Wirkungsebne des Stroms senkr gewöhnlich nicht zur vollen Wirksamkeit gelang im Allgemeinen aus zwei Theilen zusammeng

Fig. 177.



der eine, winkelrecht g gungsebne der Nadel ge Wirkung, und nur der a mit dieser Ebne kommt

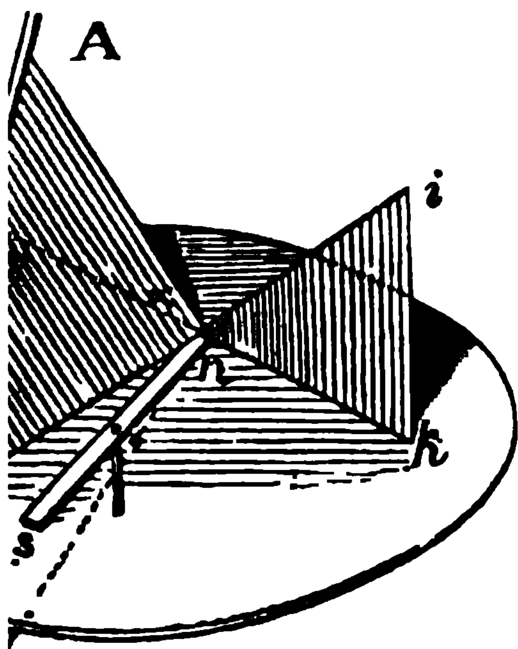
Es sey *m* (Fig. 177) eine Linie in seiner Sc welcher die Ebne *acn*

*) Die Bezeichnungen rechts und links beziehen früher (N. 366) hervorgehobene Vorstellungsweise.

ıct der Stromlinie, welche letztere die Ebne *acm* win-
:hschneidet, das Stromelement in *c* wird hierdurch der
sebne parallel gesetzt; *im* = *I* bezeichne die magne-
es Stroms, endlich α = *cma* den durch die Wirkungsebne
'ingungsebne gebildeten Winkel. Die Kraft *im* zerfällt
cräfte *mK* = *I* sin α und *iK* = *I* cos α; von denen nur
en Pol beschleunigt, so lange bis die magnetische Axe
lcher er zugehört sich gleichlaufend mit der Linie *am*
Beide Werthe können übrigens je nach der Grösse
α und seiner Lage über oder unter der Schwingungs-
, negativ und Null werden. — Die Aenderungen in
und Grösse der magnetischen Wirksamkeit eines ge-
troms auf eine Magnetnadel, mit deren Schwingungs-
llel geführt ist, lassen sich hiernach für jede Aende-
wechselseitigen Stellung bestimmt und im Voraus
zu vergl. 366).

r geradlinigte Strom die Schwingungsebne der Nadel
durchschneidet, so steht auch die durch seine Rich-
n einen oder andern Pol gelegte Ebne rechtwinklig
ganze Stromkraft fällt daher in die Schwingungsebne
trebt der Nadel eine solche Stellung zu geben, dass
sche Axe eine durch ihren Mittelpunct und die Stromlinie
ie winkelrecht durchschneidet, weil diess die einzige
welcher die gegen beide Pole gerichteten Kräfte von
ise und in ihren Wirkungen entgegengesetzt sind.

Fig. 178.



Bildet der Kupferdraht *AB* Fig. 178 durch welchen der Strom geht mit der Schwingungsebne *snd* einen beliebigen Winkel, so kann Richtung und Grösse des wirksamen Theils der gegen einen Magnetpol *n* gerichteten Stromkraft auf folgende Weise ermittelt werden: Man erhebe von dem Puncte *n* der Ebne *ABn*, deren Lage durch die Stromlinie und den Magnetpol *n* fest bestimmt ist, die Senkrechte *ni*; sie bezeichnet die Richtung der ganzen Stromkraft. Man fälle auf die Schwingungsebne das Loth *ik*, und setze *in* = *I*; so findet man die gesuchte Seitenkraft *kn* = *I* cos *ink*; deren Richtung dadurch bestimmt ist,

dass kn auf dn, der Durchschnittslinie der beiden Ebnen ink und ABn winkelrecht stehen muss. Man verlängere kn nach ... hin und ziehe auf der Ebne ABn die Linie nA winkelrecht gegen dn, so ist $anA = \alpha$ der Neigungswinkel der beiden Ebnen ... und ABn. Es ist aber α die Ergänzung des Winkels ink zu ..., daher $I \cos ink = I \sin \alpha$.

Der wirksame Theil der Kraft, die ein geradlinigter Strom gegen einen Magnetpol ausübt, gegen dessen Schwingungsebne ... beliebig geneigt ist, verhält sich also wie der Sinus des Winkels, welchen seine Wirkungsebne mit der Schwingungsebne bildet, ... steht senkrecht auf der Durchschnittslinie beider Ebnen.

Wenn der Strom an einer Magnetnadel vorübergeht, deren Grösse im Vergleiche zum kürzesten Abstande der Stromlinie ... gering ist, so kann man eine durch die Stromlinie und die ... der Nadel gelegte Ebne, ohne viel zu fehlen, als die Wirkungsebne für beide Pole annehmen. Der eine Pol wird demnach durch die Kraft $+ I \sin \alpha$*) der andere durch die Kraft $- I \sin \alpha$ beschleunigt. Beide Kräfte vereinigen sich der Nadel eine Stellung winkelrecht auf die Durchschnittslinie der Ebnen zu ertheilen, weil in diesem Falle ihre magnetische Axe mit der Richtung der Kräfte zusammenfällt.

Man denke sich in der Wirkungsebne, vom Stützpuncte der Nadel als Mittelpunct einen Kreis gezogen; der geradlinigte Strom werde, ohne die angenommene Wirkungsebne zu verlassen, an verschiedenen Puncten der Peripherie dieses Kreises als Tangente vorübergeführt, seine Einwirkung auf die Nadel wird stets, sowohl der Richtung wie der Grösse nach dieselbe bleiben.

431. Da erfahrungsmässig jedes Stück eines Stromleiters magnetische Kraft äussert, so folgt von selbst, dass die magnetische Wirkung eines electrischen Stroms aus den Wirkungen der einzelnen Theile oder Elemente desselben zusammengesetzt ist. Es sey AB (Fig. 179) ein geradlinigter Strom, n ein benachbarter frei beweglicher Magnet... Die Richtung der Abstossung die ein beliebiges Stromelement ab gegen denselben ausübt, wird aus der Lage der Wirkungsebne abn erkannt und bleibt folglich für alle Elemente des Stroms AB gleich. Nicht so ist es mit der Stärke der Einwirkung.

Fig. 179.



Vorher (129) wurde bewiesen, dass ...

*) Wenn der Werth $I \sin \alpha$ für die Mitte der Nadel gilt, so ist von den auf die Pole wirkenden Kräften, die eine um ein geringes grösser als I ..., die andere, ihrem absoluten Werthe nach, näherungsweise um eben so viel ... In der Summe ihrer Drehungsmomente heben sich daher diese Unterschiede beider Kräfte auf.

nen in seiner Richtung selbst befindlichen Magnetpol keine ung ausübt. Wir sind berechtigt dieses Erfahrungsgesetz auf die Theile eines Stroms anzuwenden und müssen ach annehmen, dass jedes Stromelement winkelrecht auf Richtung (z. B. das Element *ab* nach der Linie *mm'*) seine te Wirkung hervorbringt. In Beziehung auf einen Magnet- dessen geradlinigte Entfernung *bn* mit der Stromlinie den el $Bbn = \varphi$ bildet, lässt sich das Element *ab* gleichsam aus Theilen, *ag* und *ah* zusammengesetzt betrachten, von wel- nur die Kraft $ag = ab \sin\varphi$ den Pol zu bewegen strebt, end $ah = ab \cos\varphi$ in die Richtung der Linie *an* fällt und r für die Wirkung auf den Punct *n* verloren geht.

Venn diese Ansicht der Sache die richtige ist, muss ein Strom, ach einer gewissen Hauptrichtung in Schlangenwindungen fortschreitet, wie *acdbp* Fig. 180 auf einen benachbarten Magnetpol *m* gerade so wirken, wie ein in gleichem Abstande nach derselben Richtung gehender geradlinigter Strom *aq*; beide in entgegengesetztem Sinne laufend müssen einander aufheben.

Fig. 180.



nämlich deutlich, dass der wirksame Theil *gh* eines Strom- s *ab* genau denselben Werth erhält, ob der Strom den kür- Weg *ab* oder den gekrümmten *acdb* wählt. Folglich muss die Einwirkung auf den Punct *m* in beiden Fällen gleich seyn, gesetzt nur, dass die Krümmungen so klein sind, dass der d des Punctes *m* von verschiedenen Puncten sowohl des n wie des gekrümmten Stromstücks *ab* beiläufig als gleich ommen werden darf. In der That findet man, dass ein Strom, *p* in die Schlangenwindungen eindringt und durch die *aq* wieder zurücklauft, eine nicht allzunahe stehende tnadel in vollkommner Ruhe lässt.

sselbe findet statt, wenn der Strom nach einer gewissen ichtung in Schraubenwindungen fortschreitet, deren Durch- r, verglichen mit dem Abstande des Poles klein sind. Denn man sich die Kraft eines jeden Stromelementes nach der Längenrichtung des Stroms *ax* (Fig. 181) und den rechtwinklig darauf stehenden Linien *ay* und *az* in drei Seitenkräfte zerlegt, so gehen, wie man leicht übersicht, alle nach der Linie *ax* fallenden Seitenkräfte nach gleicher Richtung vorwärts und ergänzen sich zu der Stromlinie *ax* von glei-

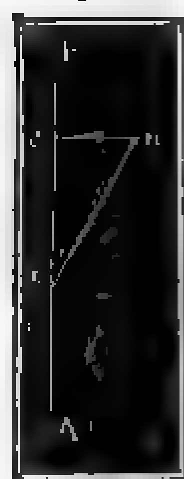
Fig. 181.



cher Länge wie die Spirale, während die Seitenkräfte nac Richtungen ay und az in Paare, vorwärts und rückwärts wärts und niederwärts gehender Ströme von gleicher Läng Stärke zerfallen, und daher ihre Wirkungen auf den Magne wechselsweise aufheben müssen.

432. Wir dürfen nach dem Vorhergehenden al wiesen annehmen, dass der wirksame Theil e Stromelementes ab (Fig. 182), beziehu weise zu einem Magnetpole n, dessen Abs an mit der Bewegungsrichtung des Eleme ab den Winkel φ erzeugt nur den W $ab \sin\varphi$ besitzt.

Fig. 182.



Es sey nun $ac = s$ ein Stück eines Stroms unbegränzter Länge, $ab = ds$ ein Element desse g die absolute Stärke der magnetischen Kraft, aus von der Einheit der Stromlänge auf die Einhei freien Magnetismus in dem Abstande $= 1$, so läss der wirksame Theil eines Elementes ab, bezoge die Einheit des freien Magnetismus, ebenfalls in Abstande $= 1$ aber in der Richtung der Linie an drücken durch $g.ds.\sin\varphi$. — Nach dem was über die Wirk magnetischer Kräfte in die Ferne bekannt ist, war zu verm dass die Wirkung eines Stromelementes auf einen entf Magnetpol sich verhalten werde, wie das Product der ma schen Kraft des Elementes in den freien Magnetismus (μ Pols, und verkehrt wie das Quadrat der Entfernung. Die das Element ab bewirkte Abstossung des Punctes n musste nach seyn $\frac{\mu.g.ds.\sin\varphi}{an^2}$; ein Ausdruck welcher, wenn der rechte Abstand nc des Pols von der Stromlinie $= R$, fo $an = \frac{R}{\sin\varphi}$ gesetzt wird, sich verwandelt in $\frac{\mu.g.ds.\sin^3\varphi}{R^2}$ rechnet man die Summe der Abstossungen, welche durch ganze Stromstück $s = ca$ gegen den Pol n bewirkt werde erhält man dafür

$$P = \frac{\mu g \cos\varphi}{R} \text{ *)}.$$

---

*) Es ist nämlich, da $nc = R$, die Stromlänge $x = s = \frac{R}{\operatorname{tng}\varphi}$. Daher $ds = -$
Diesen Werth von ds in den oben gefundenen Ausdruck $\frac{\mu g ds \sin^3\varphi}{R^2}$ sub und das Integral genommen, erhält man $\varrho \frac{-\mu g \sin\varphi d\varphi}{R} = \frac{\mu g \cos\varphi}{R}$; w Constante zuzufügen, weil für $\varphi = 90°$ die Stromlänge zwischen a und schwindet, also ihre magnetische Kraft Null wird.

einen geradlinigten Strom von unbegränzter ...ge wird $\varphi = 0$ und $\cos\varphi = 1$, daher die abstossende ...raft $P = \frac{\mu g}{R}$; d. h. sie steht im geraden Verhältnisse ...ur Stromstärke und zum freien Magnetismus des Pols ...nd im einfachen umgekehrten des senkrechten Ab...standes des magnetischen Punctes von der Stromlinie.

Diese Folgerung, in aller Strenge zwar nur auf einen Punct ...n freiem Nord- oder Süd-Magnetismus gültig, lässt sich auch auf ...agnetnadeln ausdehnen, wenn sie, vergleichungsweise zu ihrer ...nge, von der Stromlinie weit abstehen. Aus den nachstehenden ...rsuchen geht hervor, dass die Einwirkung des electrischen ...oms auf eine Magnetnadel nach diesem Gesetze mit befriedigen...r Genauigkeit selbst dann schon berechnet werden kann, wenn ... kürzester Abstand von der Stromlinie nicht mehr als das ...-5fache ihrer halben Länge beträgt.

...in geradlinigter Kupferdraht von 1 Metre Länge oder darüber lief in der ... des magnetischen Meridians einer horizontal schwingenden Magnetnadel ...5 Centimetre Länge und parallel mit der Horizontalebne. Leitete man ...n constanten Strom durch den Draht, so wurde die Nadel aus ihrem ...diane um irgend einen Winkel α abgelenkt. Die bei dieser Ablenkung ... wirksame abstossende Kraft $\frac{mg}{R}\cos\alpha$, (m ist das magnetische Moment ...Nadel), muss mit der zurückführenden Kraft des Erdmagnetismus im Gleich...ichte stehen,

$$\text{daher } \frac{mg}{R}\cos\alpha = Tm\sin\alpha$$

$$\text{und } \operatorname{tng}\alpha = \frac{g}{RT}$$

...Tangente des Ablenkungswinkels verhält sich wie die Stromstärke und ...ekehrt wie der Abstand des Drahtes von dem Mittelpuncte der kleinen ...netnadel.

...ie Stärke electrischer Ströme lässt sich bekanntlich mit der Tangentenbus... oder mit der Sinusbussole sehr genau messen. Lässt man nun Ströme von ...chiedener Stärke durch ein solches Messinstrument und zugleich durch den ...ier beschriebenen Apparat gehen, so findet man eine vollkommene Propor...alität in den Tangenten der Ablenkungswinkel beider Magnetnadeln. Als ...Strom, dessen Stärke mittels des Galvanometers und Regulators unverän...t erhalten wurde, bei veränderten Abständen R durch den Draht ging, ...ielt man:

Abstände =	1	3	4	Decimeter
Ablenkungen =	36°	13°,5	10°	

...st aber $\frac{\operatorname{tng} 36°}{4} = \operatorname{tng} 10°,3$; $\frac{\operatorname{tng} 36°}{3} = \operatorname{tng} 13°,6$.

...iesen Versuchen war der Leitungsdraht gleichlaufend mit der Schwin...gsebne und senkrecht unter den Mittelpunct der Nadel gestellt. Eine solche ...e ist jedoch nicht nothwendige Bedingung für die Anwendbarkeit des ge...denen Gesetzes; wesentlich ist nur, dass bei veränderter Grösse von R der ...ungswinkel β, zwischen der Schwingungsebne der Nadel und der Wir...gsebne des Stroms, unverändert bleibe. Der absolute Werth von $\operatorname{tng}\alpha$ ...de sich allerdings umwandeln in $\operatorname{tng}\alpha = \frac{g\sin\beta}{RT}$.

Aufgabe: Mit Rücksicht auf die vorgetragenen und als richtig e Lehrsätze wird man jetzt den Einfluss eines beliebigen Systems gerad durch welche der Strom geht auf eine entfernte Magnetnadel, durch im Voraus zu bestimmen im Stande seyn. Beispielsweise mag die folg fache Aufgabe genügen: Ein Strom von gegebner Stärke g durchdri in Form eines Quadrats gebogenen Draht, dessen Ebne die Schwing einer kleinen horizontalen Magnetnadel lothrecht und parallel mit den tischen Meridian durchschneidet. Die gerade Linie, welche den Mittel Nadel mit der Mitte des Quadrats verbindet, steht auf der Ebne des senkrecht. Ihre Länge ist gegeben und gleich l; die Länge einer seite $= s$. Man findet

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{2 g s^2}{T\left(\frac{s^2}{4} + l^2\right)\sqrt{\frac{s^2}{2} + l^2}}.$$

Ganz allgemein lässt sich der Einfluss eines electrischer von gegebner Stärke auf die horizontal schwingende nadel, mag nun der Leitungsdraht eine geradlinigte oder g Gestalt haben, durch Rechnung finden, indem man die bew Kraft eines jeden Stromelementes in drei Seitenkräfte zerle welchen die eine auf der Schwingungsebne senkrecht st also wirkungslos ist, die beiden andern dagegen in dies selbst fallen, und zwar die zweite in die Richtung des magne Meridians der Nadel, die dritte rechtwinklig darauf. Die aller nach der dritten Richtung thätigen Elementarkräfte , Grösse der ablenkenden Kraft, während die dem Meridiam gerichteten Kräfte sich zu der rückführenden Kraft des I netismus addiren.

Wir heben nur noch einen einzigen Fall, nämlich den de förmig gebognen Stromleiters, wegen seiner praktischen keit hervor.

433. Ein Metallring durch den der Strom geht werde Ebne des magnetischen Meridians so aufgestellt, dass se co Fig. 183 (nämlich die von sein telpuncte c errichtete Senkrechte) d Mitte o einer kleinen Magnetnadel g sey $ao = R$, die Entfernung eines I des Rings von der Nadel, der Radius folglich $\sin aoc = \frac{a}{R}$, so ist der par.

Fig 183.



co wirksame Theil der bewegenden Kraft eines Ringele $a . d\varphi$ (siehe N. 430) $= \frac{m . g . a . d\varphi}{R^2} . \frac{a}{R}$; wo g die Strom m das magnetische Moment der Nadel vorstellt. Eben so g die Kraft eines jeden andern Ringelementes; es verhält sic die Kraft eines Elementes zu derjenigen des ganzen Ring $d\varphi : 2\pi$, und es ergiebt sich die ganze Kraft, welche die

adel parallel mit der Axe *co* zu bewegen strebt,

$$= \frac{2\pi g m a^2}{R^3}.$$

esetzt der entsprechende Ablenkungswinkel sey α, so hat man

$$\frac{2\pi g m a^2}{R^3} \cos\alpha = m\, T \sin\alpha$$

nd daraus wieder

$$\operatorname{tng}\alpha = \frac{2\pi g a^2}{T R^3}.$$

ieses Resultat lehrt, dass die Wirkung eines Kreisstroms uf eine entfernt stehende, oder verhältnissmässig kleine Magnetadel der dritten Potenz ihres Abstandes von der Kreiseripherie umgekehrt proportional ist, wenn die Wirkung eines inzelnen Stromelementes dem Quadrate des Abstandes verehrt proportional ist*).

Wenn man die Magnetnadel in die Mitte des Ringes stellt, so ie es bei der Tangentenbussole geschicht, wird $a = R$, daher

$$\operatorname{tng}\alpha = \frac{2\pi g}{T R}.$$

ei der Tangentenbussole wächst also für einerlei Stromstärke ie Tangente des Ablenkungswinkels verkehrt wie der Radius des inges. Lässt man z. B. den Strom durch einen Ring von doppelen Halbmesser gehen, so sinkt die Tangente des Ablenkungswinkels auf die Hälfte der anfänglichen Grösse.

Die Nothwendigkeit dieses Verhaltens ergibt sich schon aus er einfachen Betrachtung, dass die bewegende Kraft jedes Ringlementes abnimmt, wie das Quadrat des Radius zunimmt, die Anahl wirksamer Elemente dagegen im geraden Verhältnisse zur rösse des Radius steht. Man gewinnt hierdurch ein einfaches ülfsmittel um das Grundgesetz der magnetischen Wirksamkeit ines Stromelementes in die Ferne in Vorlesungen zu beweisen.

---

*) Die Achnlichkeit dieses Verhaltens mit demjenigen kleiner Magnetstäbe 8 II.) hat daraufgeführt, in Fällen wo die Länge der Magnetnadel, verchen mit dem Durchmesser des Ringes, beträchtlich ist, die Grösse des Abungswinkels nach der genaueren Formel

$$\operatorname{tng}\alpha = \frac{2\pi g a^2}{T R^3} + \frac{L}{R^5}$$ zu berechnen.

Ist einleuchtend, dass wenn man den Werth von tng α für zwei Entfernungen immer unter Voraussetzung gleicher Stromstärke g, aufgesucht und daraus geleitet hat, man im Stande ist die Gränze zu bestimmen, bis zu welcher zweite Theilsatz unbeschadet der Genauigkeit weggelassen werden darf. diese Weise hat sich W. Weber versichert, dass bei der Tangentenbussole Länge der Nadel den vierten oder fünften Theil des Ring-Durchmessers nicht übersteigen darf. (Pogg. Ann. 55. 27.)

434. Es ist vorher bewiesen worden, dass die Ein\
eines Kreisstroms, dessen Ebne mit der des Meridians zus
fällt, auf eine kleine Magnetnadel, welche um einen be
Punct seiner Axe beweglich ist durch die Formel:

$$\operatorname{tng} \alpha = \frac{2\pi g a^2}{TR^3}$$

ausgedrückt werden kann. Für einen kleinen Magnetstab g
ähnlichen Bedingungen die Gleichung (378)

$$\operatorname{tng} \alpha = \frac{2M}{TR^3}.$$

Der Kreisstrom verhält sich also gegen die Nadel ganz
ein kleiner in der Axe aufgestellter Magnetstab, der seine
pol links, seinen Südpol rechts von der Richtung des Stro
dessen Mittelpunct sich vom Mittelpuncte der Nadel in ei
fernung befindet, welche gleich ist dem Abstande R de
umfangs von der Mitte derselben Nadel und dessen magn
Moment $M = \pi a^2 g$.

435. Die galvanometrischen Messungen, so wie sie g
lich ausgeführt werden, geben nur eine Vergleichung ver
ner Stromstärken aber keine absoluten Maasse. Um die
magnetische Kraft eines Stroms zu bestimmen ist es begr
Weise nothwendig, den Einfluss eines jeden Elementes d
auf die Nadel in Rechnung bringen zu können. Dazu sind
meisten Galvanometer nicht eingerichtet. Die Gesammt
eines ringförmigen Stromleiters auf die Nadel lässt sich, w
her gezeigt wurde, leicht und sicher berechnen. Die Ta
bussole bietet daher ein Hülfsmittel, die magnetische Kr
electrischen Stromes auch ihrem absoluten Werthe nach
zu lernen.

In der That, kennt man den Radius des Ringes und di
sität des Erdmagnetismus am Beobachtungsorte, so ergibt
absolute Stromstärke

$$g = \frac{TR \operatorname{tng} \alpha}{2\pi}$$

Bei dem Fig. 141 S. 295 abgebildeten Instrumente ist R =
Mmtre, und an dem Orte, wo es aufgestellt ist, $T = 1{,}90$. F
Bussole gilt daher die Formel: $g = 60{,}71 \operatorname{tng} \alpha$. Würde d
z. B. um 45° abgelenkt, so ergäbe sich eine absolute Str
sität von 60,71; d. h. ein Metallring, welcher eine 1 □ Mmtr
Fläche begränzt, von diesem Strome durchlaufen, dessen
tisches Moment $\pi a^2 g$ also gleich 60,71 ist, wirkt aus der F
einen magnetischen Punct oder auf eine Nadel gerade
60,71 mal stärker, als das Grundmaass des freien Magneti
seiner Stelle wirken würde, oder $\frac{60{,}71}{1{,}9}$ mal stärker als d

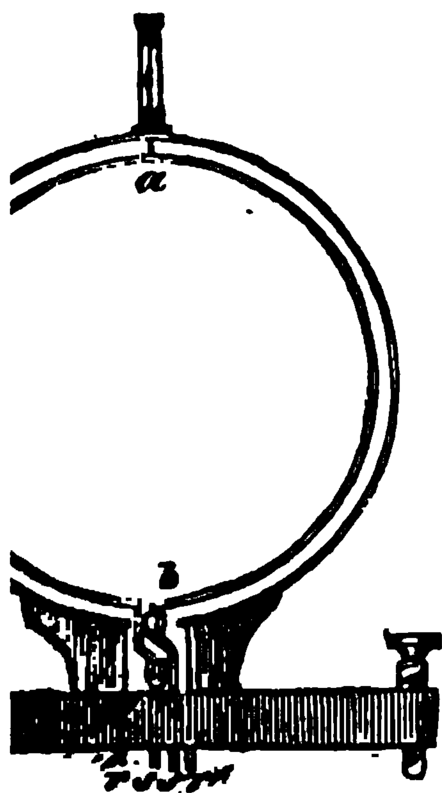
Theil des Erdmagnetismus. Einer trägen Masse von 1 Mllgrm, mit der Einheit des magnetischen Fluidums, würde da- einer Sekunde bei x Mmtre Entfernung die Geschwindig- $\frac{60{,}71}{x^3}$ Mmtre eingeprägt werden.

sind jetzt leicht im Stande den mechanischen Effect einer en Electricitätsmenge, etwa von 1 Aequivalent dieses Flui- ährend es sich um das Flächenmaass herum bewegt, zu en. Es ist früher (N. 399) gezeigt worden, dass bei einer ng der Nadel von α Graden, die Zersetzungszeit für 1 Aequi- asser beträgt: $t = \frac{10000}{5{,}0255 \operatorname{tng} \alpha}$. Soeben wurde gefunden, derselben Ablenkung α, in einer Sekunde Zeit, der Massen- ei x Mmtre Entfernung, die Geschwindigkeit $g = 60{,}71 \frac{\operatorname{tng} \alpha}{x^3}$ wird. Die Geschwindigkeit in t Sekunden ist daher

$$tg = \frac{10000 \,.\, 60{,}71 \operatorname{tng} \alpha}{5{,}0255 \operatorname{tng} \alpha x^3} = \frac{120800}{x^3} \text{ mmtre.}$$

electrische Strom äussert also während der Zersetzungs- 1 Aequivalent Wasser, während er das Flächenmaass um- ine magnetische Kraft, wodurch einer trägen Masse eine indigkeit ertheilt werden kann, 120800 mal so gross, als n Masse durch die Einheit des magnetischen Fluidums in kunde mitgetheilt wird. W. Weber hat den Vorschlag ge- lenjenigen Strom, welcher wenn er das Flächenmaass um- , dieselbe Wirkung, wie das Grundmaass des freien Mag- s, aus gleicher Entfernung hervorbringt, als Stromeinheit ıen. Er nennt demgemäss den Quotienten vom Aequivalente ssers durch die Zahl 120800, d. h. diejenige Wassermenge, welche durch die Stromeinheit in einer Sekunde zersetzt wird, electrochemisches Aequivalent des Wassers. (Pogg. Ann. 55. S. 181.)

Fig. 184.

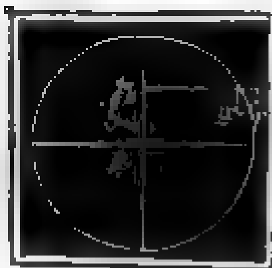


436. Ein Drahtring *abc* Fig. 184 werde bei *a* an einem ungedrehten Seidenfaden aufgehängt. Senkrecht unter dem Aufhängepuncte ist der Zusammenhang des Rings unterbrochen und die dadurch gebildeten Enden tauchen in die Quecksilbernäpfe *b* und *d* ohne jedoch auf dem Boden derselben aufzustossen. Beide Näpfe stehen genau senkrecht unter dem Puncte *a* und gestatten desshalb eine freie Bewegung des Ringes um den Durchmesser *ab*.

Verbindet man die zu den Quecksilbergefässen führenden enden *s* und *s'* mit den Polen einer galvanischen Kette, so l sich der Ring und strebt eine solche Stellung einzun dass seine Ebne den magnetischen Meridian winkelrecht schneidet. Denn diese Lage worin der Kreisstrom eine nen Magneten vorstellt, dessen positiver Pol nach Nord richtet ist, ist die einzige welche einen dauernden Gl wichtszustand gestattet. Wenn die Ringebne den Meridia winkelrecht durchschneidet, aber der kleine Magnet den s stellt, seinen negativen Pol nach Norden kehrt, so findet all auch Gleichgewicht statt, es ist jedoch unbeständig; der Rin bei der geringsten Aenderung dieser Stellung ganz umgedr jeder andern Lage sich selbst überlassen schwingt er ähnl Magnetnadel um die vorhererwähnte Ruhelage. Er erhä grösstes Drehungsmoment, wenn seine Ebne mit der de dians parallel steht. Dieses Drehungsmoment ist π d. h. es wächst proportional mit der Stromstärk dem Flächeninhalte der Ringebne.

Die Kraft eines jeden Stromelementes *sr* (Fig. 185) nämlich in zwei Theile *sy* und *sx*. Der ers wirkungslos, weil seine Richtung mit der des Erdmagnetismus zusammenfällt; der besitzt das Moment *sp* . *sx*. Es ist nun ers dass die Summe der Momente der wir Theile aller Stromelemente, dem absoluten nach gleich ist dem Quadratinhalte πa^2 de ses. Mit Recht haben wir also den Ausdru als das statische Moment des Kreisstroms zu betrachten.

Fig. 185.



Es ist einleuchtend dass ein viereckig gebogner, übrig gleiche Weise aufgehängter Draht ein ganz ähnliches Ve zeigen muss. Das entsprechende Drehungsmoment ist 4 wenn 2 *a* die Länge einer Seite bezeichnet.

437. Ein beweglicher Leitungsdraht, so wie Fig. 186 wie Fig. 187 aus zwei Rechtecken zusammengesetzt, verbi

Fig. 186.

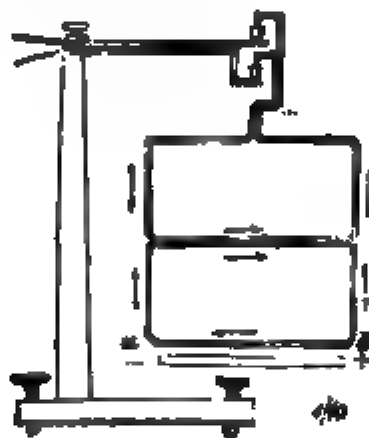
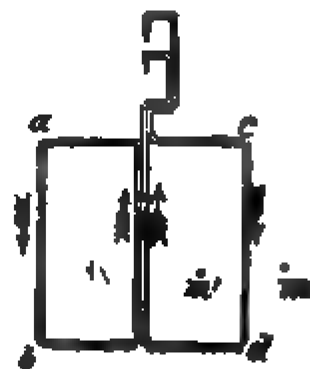


Fig. 187.

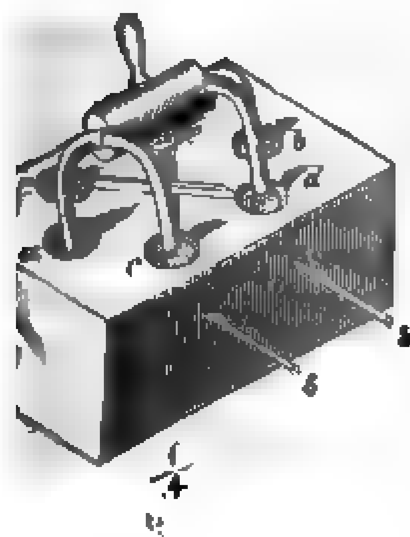


e h gegen den Einfluss des Erdmagnetismus, weil, wie
n übersehen, die Wirkung des einen Rechtecks die des
wieder aufhebt. Solche astatische Stromleiter, an einem
wie in Fig. 186 aufgehängt, so dass sie ein leicht beweg-
System bilden, zeigen fest liegenden Magnetstäben gegen-
in ähnliches Verhalten, wie astatische Magnetnadeln unter
influsse unbeweglicher Stromleiter. Befindet sich z. B. bei
. 187, zunächst der Seite *cd* des astatischen Rechtecks, ein
etpol, so wird der Draht *cd* winkelrecht gegen die Ebne *cdm*
estossen. Befindet sich derselbe Pol bei *m'*, so tritt eine ähn-
Abstossung aber in entgegengesetztem Sinne ein. Bringt
daher an die Puncte *m* und *m'* die Pole eines Hufeisen-
ets, so unterstützen sie einander um den Draht *cd* in Bewe-
zu setzen, und zwar bei der in der Figur angenommenen
ung des Stroms, zur Rechten oder Linken je nachdem in *m*
ord- oder Südpol steht. Legt man einen Magnetstab nahe
die Seite *ab* des andern astatischen Rechtecks, so stellt sich
ne des letzteren winkelrecht gegen die magnetische Axe
abs, und zwar so, dass sein Nordpol sich immer zur Linken
urch den Draht *ab* gehenden Stroms befindet. Durch Um-
ng des Stroms wird daher die Gleichgewichtslage gestört
r Draht muss einen Bogen von 180° beschreiben.

s astatische Rechteck ist zuerst von Ampère benutzt wor-
m die Einwirkung unbeweglicher Magnetstäbe auf beweg-
Stromleiter, eine Einwirkung die theoretisch allerdings leicht
auschen war, auch experimentell zu bewähren.

3. Derselbe Gelehrte hat eine bequeme Vorrichtung erson-
m electrische Ströme rasch umzukehren. Sie hat den Namen
Gyrotrop oder Commutator erhalten und besteht aus einem Stücke dichten Holzes (Fig. 188) in welchem 6 Vertiefungen, bestimmt um Quecksilber aufzunehmen, angebracht sind. Die Oeffnungen *a* und *b* werden mit den Polen des Electromotors in Verbindung gesetzt; *c* steht durch einen dicken Kupferdraht in leitendem Zusammenhange mit *e*, ebenso *d* mit *f*. Beide Drahtstücke durchkreuzen sich also, ohne jedoch einander zu berühren. Auf dem Brete sitzt eine Wippe mit 6 Füssen aus dickem Kupfer-
, entsprechend den 6 Quecksilberbehältern. Zwei dieser
welche in die Oeffnungen *a* und *b* eintauchen, sind länger
s übrigen; so dass von den letzteren immer nur zwei zu-
, nämlich *c* und *d* oder *f* und *e* in die zugehörigen Quecksil-

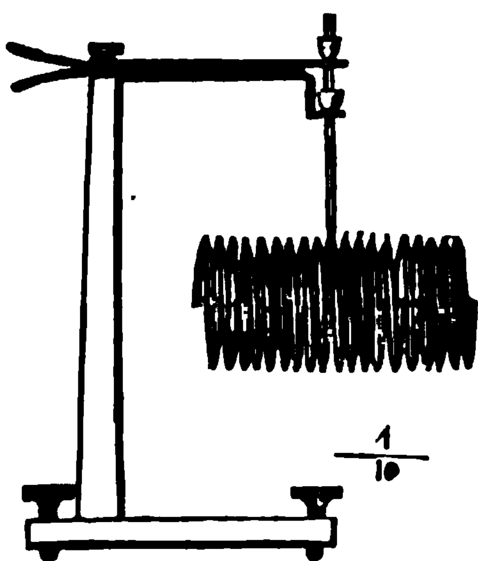
Fig. 188.



bernäpfe eingehen können. Die Füsse *a*, *c* und *f* bilden ei… menhängendes Metallstück, ebenso die Füsse *b*, *d* und *e* Abtheilungen der Wippe sind aber nur durch einen Hand… Holz verbunden und stehen folglich in keinem leitenden… menhang. Man begreift nun leicht, dass der z. B. bei *a* … gende Strom in den Ableitungsdraht *s* oder *s'* übergeführt muss, je nachdem man die Wippe auf der einen oder der Seite niederdrückt.

439. Es ist vorher gezeigt worden, dass der Kreisstro… ähnlich verhält wie ein kleiner Magnet, dessen positiver I… links von der Richtung des Stroms befindet. Biegt man n… Leitungsdraht einer electrischen Kette zu mehreren fortla… Windungen von gleicher Grösse, etwa in Form einer Schr… erhält man eine Reihe kleiner, gleichgerichteter Magnete… Wirkungen also einander unterstütz… sen. Die Figur 189 zeigt einen … schraubenförmig gewundenen Kupf… Hängt man denselben an dem … (Fig. 186) auf und wird er von den… durchdrungen, so stellt sich seine … richtung in den magnetischen Meri… dass der Strom den magnetischen… zur Linken hat. Verrückt man ihn … ser Lage so kehrt er nach einer R… Schwingungen (die nöthige Empfin… der Aufhängung vorausgesetzt) imm… der in dieselbe zurück. In ähnlicher Weise folgt die mag… Schraube der Einwirkung eines genäherten Magnetpols. … lässt sich jedoch die Analogie mit einer Magnetnadel ni… dehnen. Das grösste magnetische Moment der Schraul… nicht, wie bei einem Magnetstabe, in Abhängigkeit von de… sondern wird nur durch die Stromstärke, so wie durch di… und Anzahl der Windungen bestimmt. Es sey z. B. *a* der … *n* die Zahl der Windungen, so ist das grösste statische … $= n.\pi.a^2.g$; also nicht grösser als das eines einzigen … in welchem ein Strom von *n* facher Stärke circulirt. Ve… man dieselbe Drahtlänge zu einem einzigen Ringe von … Grösse, so wird das entsprechende Moment $\pi(na)^2g$ al… so gross als vorher.

Fig. 189.



Diese Folgerungen lassen sich mit Hülfe des Webe… kleinen Magnetometers oder magnetischen Intensitätsmesse… Fig. 149) leicht auch experimentell rechtfertigen, indem n… Drahtring oder die Schraubenwindungen in passender Ent… von der Nadel so aufstellt, dass ihre verlängerte Axe in d… der Nadel trifft und zugleich auf dem magnetischen Meridi… recht steht. Aus der bewirkten Ablenkung und dem bekan…

lann mittelst der Gauss'schen Formel das Moment

tromagnete. Der electrische Strom besitzt die Eigen-
ürlichen magnetischen Kräfte des Eisens zu scheiden.
eine Stange von weichem Eisen mit einem Draht-
man mit den Polen einer electrischen Kette verbindet,
augenblicklich magnetisch polarisch und verharrt in
inde, so lange sie von dem Strome umkreist wird.
ngsweise zur Richtung des letzteren, linke Seite er-
sitiven Pol, ihre rechte Seite einen negativen Pol.
hrung des Stroms wird diese Polarität alsbald eben-
hrt. Oeffnet man die Kette, so verschwindet sogleich
ld nachher jede Spur von freiem Magnetismus. Nur
beide Pole durch einen Anker von weichem Eisen ver-
n, und dieser nicht mit Gewalt abgerissen wird, er-
Theil der wechselseitigen anziehenden Kraft noch

netische Kraft eines Electromagnets verhält
e Stärke des Stroms, welcher den Eisenstab
m diess zu beweisen schliesse man in den Kreis der
Kette neben dem Drahtgewinde, eine Tangentenbus-
n Stromregulator; dann messe man bei verschiedenen
die Einwirkung des Electromagnets auf eine entfernte
nach der vorher schon erwähnten, in N. 378 ausführ-
ten Methode; am bequemsten unter Beihülfe von We-
n Intensitätsmesser. Man findet auf diesem Wege das
Electromagnets oder eigentlich den Ausdruck

$$\frac{2M}{T} = R^3 \operatorname{tng} \alpha.$$

ge Stromstärke ergibt sich aus der Gleichung:

$$\frac{g}{T} = \frac{R' \operatorname{tng} \alpha'}{2\pi}.$$

ıngen sagen, dass das Moment M sich verhält wie
des Ablenkungsbogens der Intensitätsnadel, und dass
ke g der Tangente des Ablenkungsbogens der Gal-
del proportional ist. Wenn daher das Moment eines
ts mit der Stromstärke gleichmässig zu- oder abneh-
muss man für jede Veränderung des Werthes von
roportionale Aenderung von tng α erhalten; und so
lich der Versuch.

eugte magnetische Kraft ist, wenn die Enden
s von den äussersten Drahtwindungen so weit ab-
letztere von ersteren aus gesehen einen nicht zu
enden kleinen Bruchtheil der Kugelfläche decken,
g von der Weite der Drahtwindungen. Denn

wenn man einen Kern von Eisen mit concentrischen Drah
gen von ungleichem Durchmesser, jedoch einer gleiche
von jeder Art, umgibt, und einen Strom von beständig
abwechselnd durch die einen und andern gehen lässt, so
Ablenkungsbogen α, folglich auch das Moment des Electr
unverändert.

Dieses Verhalten erklärt sich dadurch, dass jeder K
die magnetischen Kräfte nicht nur solcher Eisentheile, die

Fig. 190.



Ebne liegen, zu trennen sucht
dass er auch auf die rechts
von seiner Ebne gelegnen T
Eisenkorns einwirkt. Es seye
(Fig. 190) und $Ro = R$ die H
zweier concentrischen Ströme
durch ihre gemeinschaftliche Axe gelegte Eisenkern, so w
von dem Ringe $2r\pi$ in dem Puncte a, und die von dem R
in dem unter gleicher Neigung gelegnen Puncte b bewirk
netischen Ausscheidungen sich verhalten, verkehrt wie die
ser R und r. Die zwischen gleichen Winkelweiten gelegen
des Eisens und folglich auch die Puncte proportionaler Wi
vergrössern sich aber mit dem Ringhalbmesser. Die Ges
kung zweier Ringe von ungleichem Durchmesser muss folg
seyn insofern nur der Eisenstab auf beiden Seiten der
weit genug hervorsteht. Wird diese letztere Bedingung
ten, so ist es übrigens, hinsichtlich der Stärke des ent
Magnetismus ganz gleichgültig, ob der Strom den Eisens
Mitte oder näher dem einen oder andern Ende umkreist.
wenig äussert die Ordnung in welcher die Windungen n
übereinander liegen den geringsten Einfluss; nur darf
eine metallische Berührung statt finden und alle Windun
sen nach derselben Richtung gehen; d. h. die kleines

Fig. 191.



welche sie vorstellen müssen je die
gen Pole nach derselben Seite hin
Hufeisenförmig gebogne Eisenstäbe
genau in der Weise wie die gera
wickelt werden, so nämlich, dass w
sich das Hufeisen aufgebogen denkt,
dungen in gleichem Sinne gehen
Fig. 191)

Aus dem Vorhergehenden ergibt
unmittelbare Folge, dass der in eine
stab durch den Strom erregte
tismus, bei gleichbleibender
stärke, mit der Anzahl Umwin
in geradem Verhältnisse zunim
gen diese nun neben- oder übereinand

t seyn. Nur solche Windungen die dem Ende eines Eisenkerns nahe liegen oder deren Umfang von der Oberfläche des Eisens : absteht, als dieses über der Ringebne hervorragt, besitzen em oben angegebnen Grunde eine etwas geringere Wirksamals die übrigen. Das eben ausgesprochne Gesetz lässt sich r sichrer und mit grösserer Allgemeinheit auf folgende Art rücken: Die gesammte Wirkung in die Ferne der in Eisenkern umgebenden Windungen ist gleich Summe der Wirkungen der einzelnen Windungen. uf die Stärke der ausgeschiedenen magnetischen Kräfte äusaber auch die Beschaffenheit des Eisenkerns selbst einen sehr sen Einfluss. Gewöhnlich wählt man dazu cylindrische Eisen:e, weil diese sich am bequemsten mit dem Kupferdraht so ickeln lassen, dass der Raum im Innern der Windungen vollig ausgefüllt wird. Man findet nun, dass die magnetische samkeit (die ablenkende Kraft) verschiedener gleich dicker cylinder mit ihrer Länge zunimmt, jedoch nicht verhältnissg, sondern in grösserem Verhältnisse als die Länge.

seyen z. B. 4 cylindrische Stäbe von 395; 300; 260 und 200 Mmtre Länge, Mmtre Durchmesser, welche nach einander in eine Drahtrolle von 574 ngen gesteckt und dadurch in Electromagnete verwandelt werden. Man ne ihre Momente nach dem in N. 380 beschriebenen Verfahren, immer bei r Stromstärke, aus den bei je zwei Abständen von der Intensitätsnadel hteten Ablenkungen, mit Hülfe der Gauss'schen Formel

$$\frac{2M}{T} = \frac{R^3 \operatorname{tng} \alpha - R'^3 \operatorname{tng} \alpha'}{R^2 - R'^2}$$

auf diese Weise ermittelte Moment ist jedoch zusammengesetzt, aus dem te des Eisenkerns und dem der Drahtrolle für sich. Man bestimme daher as Moment der letzteren und ziehe den dafür gefundenen Werth von dem it eines jeden Electromagnets ab. Die Zahlen der zweiten Spalte in der den Tabelle sind auf diesem Wege und zwar für die Stromstärke $\frac{100{,}65}{2\pi}$ tng 35° bestimmt worden. Sie sind vergleichbare Ausdrücke für wirkung der zugehörigen magnetischen Eisencylinder, aus weiter Entg auf die Magnetnadel.

ige des linders	$\frac{2M}{T}$ abgeleitet aus der Beobachtung	$\frac{2M}{T}$ berechnet	l mmtre
395	1182300000	1187000000	160,6
300	853792000	853800000	113,1
260	637660000	688000000	93,1
200	463600000	466300000	63,1
e leere htrolle	56444000		

agnetische Moment $M = 2\mu l$ eines Magnetstabs ist das Product der getrennter magnetischer Flüssigkeiten (2μ) in die halbe Scheidungs-372) oder in den Abstand (l) eines Pols von der Mitte des Stabs. Nach mb's Untersuchungen (291) ist die Menge und Vertheilung des freien

Magnetismus an beiden Enden eines Magnets, dessen Länge 180 Mmtre und darüber beträgt, unabhängig von der Länge, und vom äussersten Ende bis zu 80 Mmtre Entfernung hin, bei cylindrischen Stäben von gleicher Dicke fast dieselbe. Die idealen *) Pole der vier durch den electrischen Strom magnetisirten Eisencylinder müssen daher in beinahe ein und demselben Abstande x von ihren Enden liegen, und es muss seyn $M = 2\mu\left(\frac{L}{2} - x\right)$, wenn L die Länge eines Cylinders vorstellt. Vorausgesetzt nun, dass die Menge des durch den Strom ausgeschiedenen magnetischen Fluidums in Cylindern von gleicher Dicke, wenn sie genügend weit aus den Windungen hervorragen gleich ist, wird es möglich aus je zweien Gleichungen obiger Gestalt μ und x und folglich auch die halbe Scheidungsweite l abzuleiten. Für x wurde als Mittelwerth 36,9 mm gefunden. Die hiernach berechneten Momente der 4 Eisencylinder stimmen mit den aus der Beobachtung abgeleiteten Resultaten genau genug überein, um zu beweisen: dass in cylindrischen Eisenstäben von gleicher Dicke, aber ungleicher Länge, unter dem Einflusse desselben electrischen Stromes gleiche Quantitäten von Magnetismus ausgeschieden werden, dass aber dessen ungeachtet die Wirkung in die Ferne nicht gleich, sondern der Grösse der Scheidungsweite proportional ist.

Da nun bei ein und demselben Eisencylinder, wie lang er auch seyn mag, stets ein mit der Stromstärke proportionales Anwachsen der magnetischen Kraft wahrgenommen wird, so muss man schliessen, dass die Scheidungsweite und folglich auch das Vertheilungsgesetz des frei gewordenen Magnetismus ganz unabhängig ist von der Quantität der getrennten Flüssigkeiten; d. h. dass ein und derselbe Stab seine Pole immer an denselben Puncten erhält, wie viel oder wie wenig Magnetismus darin entwickelt worden seyn mag.

Die magnetische Wirksamkeit eines Electromagnets ist bei gleichbleibender Stromstärke hauptsächlich von der Beschaffenheit seiner Oberfläche abhängig. Als man einen massiven und einen hohlen Cylinder, beide von 38 Mmtre Dicke nach einander in eine Drahtrolle von 500 Windungen in 9 Lagen übereinander, schob, erhielt man fast dieselbe Ablenkung der Intensitätsnadel. Diess fand sogar dann statt, wenn der hohle Cylinder aus Eisenblech verfertigt war. Als man während des Versuchs in die Höhlung des letzteren einen dieselbe ausfüllenden massiven Eisenkern schob, wurde die Stellung der Nadel nicht merklich dadurch geändert. Die innere Masse des Eisens nimmt folglich keinen, oder doch nur einen geringen **) Antheil an der magnetischen Thätigkeit; wie stark auch die magnetische Entwicklung an der Oberfläche seyn mag.

Bei diesem Verhalten des Eisens gegen die magnetische Einwirkung der bewegten Electricität lässt sich mit der grössten Wahrscheinlichkeit annehmen, dass die Menge magnetischer Flüs-

*) Es gibt eine ideale Verbreitung der beiden magnetischen Fluida auf der Oberfläche des Magnets, welche mit der wirklichen für alle äusseren Wirkungen gleichwerthig ist. Der Nordpol eines Magnets ist der Schwerpunct des an verbreiteten nordmagnetischen, der Südpol der Schwerpunct des ebenfalls an der Oberfläche verbreitet gedachten südmagnetischen Fluidums.

**) Wenn die Drahtwindungen aus beträchtlicherer Entfernung auf den Eisenkern einwirken, so wird ihr Einfluss auf die inneren Eisentheile merklicher.

:en, welche an der Oberfläche eines Cylinders ausgeschieden ich verhält nahezu wie die Grösse der Oberfläche.

Ablenkungsversuche geben jedoch nur eine unvollkommene Bestätigung Folgerung, denn man findet, dass die magnetischen Momente cylindrisenstäbe in etwas geringerem Verhältnisse abnehmen, als ihre Durchoder Oberflächen. Z. B. drei 200 Mmtre lange Cylinder von 38; 19 und Durchmesser, welche nach einander der Einwirkung desselben Stromes tzt wurden, erhielten die magnetischen Momente:

294376 und 140200. Der obigen Annahme entsprechend, hätte man aber 231800 und 123000 erhalten müssen.

Grund dieser Abweichung ist vielleicht in dem Umstande zu suchen, Scheidungsweite cylindrischer Magnetstäbe etwas grösser wird, wenn chmesser abnimmt. Denn auch andere Erfahrungen, von welchen erst die Rede seyn kann, beweisen, dass die Menge magnetischen Fluidums, er dem Einflusse gleicher Stromkräfte in Eisencylindern von ungleicher rregt wird, den Durchmessern der letzteren proportional ist (460).

st nunmehr möglich die Kraft cylindrischer Electromagnete durch Rech-Voraus zu bestimmen. Die zu diesem Zwecke geeigneten Gleichungen sind:

$$\frac{2M}{T} = A\frac{r \operatorname{tng} \alpha}{2\pi} n \,.\, l \,.\, d \quad \text{und}$$

$$\frac{2m}{T} = \frac{2n\pi a^2 g}{T} = n a^2 r \operatorname{tng} \alpha.$$

:e gibt das Moment des Eisenkerns, die zweite das Moment der Draht-$\frac{r \operatorname{tng} \alpha}{2\pi} = \frac{g}{T}$ bedeutet die Stromstärke gemessen durch den Erdmagne-n die Zahl, a den Halbmesser der Windungen; d die Dicke des Eisenkerns, lfte des Abstandes beider Pole von einander; A ist ein unveränderlicher ent, zu dessen Ermittlung die vorher mitgetheilten Beobachtungen die-nen, indem man für $\frac{2M}{T}$ und l einen der dafür gefundenen Werthe; i; $r = 200{,}65$ und $\alpha = 35^\circ$ setzt. Man erhält dann

$$\frac{A}{2\pi} = 2{,}411.$$

zen dieser Gleichungen wird am deutlichsten aus der folgenden Aufhellen:

einer gegebenen Kupfermasse, einem gegebenen Eisen-er und vier Kohlen-Zinkelementen zu einem Paare geordll ein Electromagnet von möglichst grosser Wirksamkeit Ferne ausgeführt werden.

nehme die Länge einer Windung $= 2\pi a$; den kubischen Inhalt der ganpfermasse $= 2\pi a F$; den Leitungswiderstand eines Kupferdrahts von ge $2\pi a$ und dem Querschnitte $f = \varrho$, so ist der Widerstand eines Drahts selben Länge und dem Querschnitte $F = \frac{\varrho f}{F}$. Da nun aber aus dieser asse n Windungen gebildet werden, folglich die Länge n mal grösser s, der Querschnitt dagegen n mal kleiner als f wird, so ergibt für den swiderstand sämmtlicher Drahtwindungen der Werth $\frac{\varrho f n^2}{F}$.

Ferner ϱ' der Widerstand der Kette und aller zugehörigen Verbindungs-K die electromotorische Kraft; daher nach dem Ohm'schen Gesetze t Berücksichtigung der Tangentenbussole, die ablenkende Kraft : $\dfrac{K}{\varrho' + \dfrac{\varrho f n^2}{F}}$, und das gesuchte magnetische Moment

$$\frac{2M}{T} = 2{,}411 \, . \, l \, . \, d \, . \, r \, . \frac{nK}{\varrho' + \frac{\varrho f n^2}{F}}$$

Dieser Werth wird ein Maximum, wenn $\varrho' = \frac{\varrho f n^2}{F}$ gesetzt wird, d. h. man dem Kupferdraht eine solche Länge und Dicke gibt, dass der hiera springende Widerstand demjenigen des übrigen, unveränderlichen Th Kette gleich kommt. Aus dieser Bedingungsgleichung folgt nun $n = \sqrt{}$

Bei dieser Untersuchung war der Eisenkern als gegeben voran worden. Mit der Länge desselben vergrössert sich das magnetische Der Durchmesser kommt nicht in Betracht, denn wenn auch bei ei nahme desselben die von jeder einzelnen Windung abhängige mag Kraft sich vergrössert, so vermindert sich dagegen, und zwar in de Verhältnisse, die Anzahl der Windungen, weil jede einen grösseren Um halten muss. Der Leitungswiderstand bleibt unverändert. Insofern also n der aus der Bedingsgleichung gezogne Werth gesetzt und der Kupf so weit thunlich unmittelbar um den Eisencylinder gewickelt wird, erl aus der Gleichung

$\frac{2M}{Tl} = 2{,}411 \, . \, d \, . \, r \frac{nK}{2\varrho'}$ das Maximum des magnetischen Moments, bei der der Bestimmung von A zum Grunde liegenden Stablänge unter E flusse des gegebenen Electromotors mit der gegebnen Kupfermasse üb erzeugt werden kann *).

Beispiel: Es soll ausgemittelt werden, welche magnetische Kra 3000 Grm gewöhnlichen Kupferdraht erzielt werden kann. Früher wurde bewiesen, dass gewöhnlicher Kupferdraht von 2,062 mm Durc und 9,3 Mtre Länge denselben Widerstand wie 0,85 Regulatorwindunge Dieser Draht gibt 60 Windungen, jede von 155 mmtre Länge. Daher Wi einer Windung $\varrho = \frac{0{,}85}{60}$.

Dieser Draht wog 276 Grm. Es ist hiernach $F = \frac{3000 \, . \, 60}{276} f$

und $\frac{F}{\varrho f} = \frac{3000 \, . \, 60 \, . \, 60}{276 \, . \, 0{,}85} = 46035.$

---

*) Man sollte denken, dass zur Erzielung eines Maximums der Wirk Art der Zusammenstellung der electromotorischen Elemente, ob sie nur zu einem Paare, wie in unserem Beispiele oder zu mehreren geordn den, nicht gleichgültig seyn könne. Es seyen überhaupt m Elemente g man ordne sie zu x Paaren, so kommen $\frac{m}{x}$ Elemente bei jedem Paar einander zu stehen. Die Kraft ist dann $x K$, der Widerstand im Innern tigen Theils der Kette $\frac{\varrho' x^2}{m}$, der ganze Widerstand also: $\frac{\varrho' x^2}{m}$ + Werden nun diese Ausdrücke in die obige Gleichung gesetzt, so lä daraus zur Bestimmung der grössten Wirkung nur eine einzige Bedi gleichung ableiten, nämlich $\frac{\varrho' x^2}{m} = \frac{\varrho f n^2}{F}$. Da zwei Unbekannte in d vorkommen, so folgt, dass die Aufgabe unbestimmt ist. D. h. wie a gegebnen Elemente geordnet werden mögen, man wird immer zu de Maximum gelangen, sobald nur die Dicke des Leitungsdrahtes der ein wählten Ordnung angepasst wird. (Lenz und Jakobi in Pogg. Ann. 4

r Leitungswiderstand eines Zink-Kohlenpaars von der Grösse, wie man genwärtig aus Marburg bezieht, entspricht dem von beiläufig einer Regu-rindung. Vier Paare neben einander äussern folglich einen Widerstand Rechnet man eben so viel für die Verbindungsstücke, so ist $\varrho' = 0,5$;

$$n = \sqrt{\frac{\varrho' F}{\varrho f}} = \sqrt{23016,5} = 151,7 \text{ Windungen.}$$

ser Berechnung ist die Dicke des Eisenkerns zu ungefähr 40 mmtre an-men. Wollte man statt dessen einen Cylinder von 60 mmtre Durchmesser , so würde sich die Zahl der Windungen auf 100 verringern, die magne-Erregung aber gleichwohl dieselbe bleiben. Um den Durchmesser des zu finden, setze man

$$152\, d^2 = \frac{3000}{276}\, 60\, (2,062)^2. \text{ Es ist } d = 4,483 \text{ mmtre.}$$

r Beurtheilung des Tragungsvermögens eines Electromag-ind die vorstehenden Untersuchungen ungenügend. Ueber-ist es bis jetzt nicht gelungen irgend einen sichern Anhalt winnen, um die Tragkraft eines Magnets aus seiner Wirk-it in die Ferne abzuleiten. Wenn man an dem einen Ende geraden electromagnetischen Eisencylinders bei verschie-Stromstärken Gewichte anhängt, immer unter Vermittlung ben Ankers, und wenn man zugleich mit Sorgsamkeit darauf , dass die Zugkraft der Axe des Cylinders parallel wirkt, so sich eine Zunahme des Tragungsvermögens propor-l dem Quadrate der Stromstärke.

af den absoluten Betrag der Tragkraft hat die Sorge die man hat, dass der Anker von allen Puncten der Berührung ehst gleichzeitig abreisst, den auffallendsten Einfluss. Aber noch andere Nebenumstände kommen in Betracht. Ist der cylindrisch und eben so dick wie der Eisenkern, so nimmt agkraft mit der Länge desselben merklich zu. In gleicher vermehrt sich die Tragkraft, wenn durch Verlängerung des terns der entgegengesetzte Pol weiter fortgerückt wird. Be-der ist der Abstand der Drahtwindungen von dem Anker. rer wird um so fester gehalten, je näher man sie demselben , und unter übrigens gleichen Verhältnissen erreicht man den grössten Vortheil, wenn die Windungen zur Hälfte den tern und zur Hälfte seinen Anker umgeben.

r Analogie gemäss sollte man erwarten, dass das Tragungs-gen hufeisenförmiger Electromagnete, an deren beide Pole ker gleichzeitig angelegt wird, ebenfalls mit dem Quadrate romstärke zunehmen werde. Die übereinstimmendsten Ver-, wenigstens mit solchen Hufeisen, welche mit dicken pa-pipedisch gestalteten Stücken von weichem Eisen geschlos-urden, lassen jedoch vermuthen, dass diese Zunahme nur im hen Verhältnisse der Stromstärke steht.

l. Der electrische Strom bietet das wirksamste Hülfsmittel ahlstangen magnetisch zu machen. Es genügt, dieselben

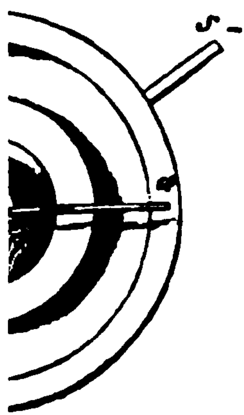
durch eine electrische Drahtrolle zu schieben, um den na
Gleichgewichtszustand ihrer magnetischen Kräfte auger
und bleibend zu stören. Um den Magnetismus des gehärtet
so vollständig zu entwicklen, als es seine Coercitivkraft g
ist es nicht sowohl erforderlich eine recht grosse Anzal
windungen und einen Electromotor von entsprechendem l
zur Verfügung zu haben, als vielmehr eine intensive Str
gegen jeden einzelnen Punct der Stahlstange zu richten.
darf hierzu, wie Elias (Pogg. Ann. 62. 250) zuerst gez
nur einer mässigen Anzahl Umwindungen eines 4—5 mmt
Kupferdrahts, die zu einem ganz schmalen aber hohen R
ordnet werden. Anstatt des Drahts kann man auch und
noch mit grösserer Bequemlichkeit einen Kupferstreifen
chen der 1 Mmtre dick, 20 Mmtre breit und lang genu
etwa 40 Windungen übereinander daraus bilden zu könn
Windung ist von der andern durch geleimtes Papier getr
Electricitätsquelle nimmt man 1 — 4 Kohlen-Zink-Elem
neben einander zu einem einzigen Paare verbunden we
zersetzende Kraft dieses Apparates ist so gross, dass ei
stange von 2—3 Fuss Länge und 2 Zoll Breite, die man
zweimal ihrer ganzen Länge nach durch die Höhlung de
hin- und wieder zurückschiebt so magnetisch wird, als
haupt zu werden vermag. Ein Hufeisenmagnet mit vor
Anker gewinnt durch einmaliges Durchziehen das Maxim
Kraft; gleichwohl kann durch Umkehrung der Strome
seine Polarität fast augenblicklich ebenfalls umgekehrt
Diese Magnetisirungsmethode hat vor dem Streichen
noch den Vorzug, dass dabei keine Zwischenpole
können.

442. Electromagnetische Umdrehungen. Die
bare wechselseitige Einwirkung des electrischen Stroms
Magnetpols äussert sich, wie wir gesehen haben, wede
ziehung noch als Abstossung, sondern als ein Druck
gegen die durch Stromesrichtung und Pol gelegte Ebne
Druck bleibt bei unverändertem Abstande immer ders
auch rings um einen geradlinigten Strom herum der M
oder rings um einen isolirten Pol der geradlinigte Strom
finden mag. Es ist daher vorauszusehen, dass ein freier
pol einen feststehenden Stromleiter, und dass umgekehrt e
beweglicher Stromleiter einen unbeweglichen Pol umkreis
In der That kam man zu dieser Folgerung bald nach
deckung des Electromagnetismus. Es ist zuerst Farada
gen, dieselbe durch ein Experiment zu rechtfertigen. Die
such, einmal gegeben, wurde dann bald auf das mannic
abgeändert. Einige derartige Verrichtungen mögen hier e
finden.

ng eines Magnets um den Strom. Ein weites
nit Quecksilber gefüllt. Ueber der Mitte desselben er-
ı 2—3 Linien dicker gerader Kupferdraht, der eine
lie Flüssigkeit eintaucht und dessen oberes Ende in
indung mit dem einen Pole eines kräftigen galvani-
gesetzt werden kann. Von dem andern Pole führt
rbindung zu einem Ringe von Kupferblech, der auf
sitzt und dessen unterer Rand ringsum das Queck-
t. Zwischen Ring und Draht schwimmt ein kleiner
Stahldraht, der mittelst eines an seinem untern Ende
ten Stückes Platindraht von gleichem Durchmesser in
Stellung erhalten wird. So wie man die Kette schliesst,
Magnet den Draht zu umkreisen, weil bei der beschrie-
nung der Strom nur auf einen seiner Pole wirken
chtung der Bewegung lässt sich je nach der Richtung
nd der Beschaffenheit des aus der Flüssigkeit hervor-
agnetpols leicht übersehen.

Bewegung des electrischen Stroms um einen Magneten. In der Mitte eines Cylinders von festem und dichtem Holze (Fig. 192) ist ein Näpfchen von hartem Eisen eingelassen, in welchem der um seinen Schwerpunct leicht bewegliche Kupferdraht *ab* auf stählerner Spitze ruht. Ringsum in 2—3 Zoll Abstand befindet sich eine in das Holz eingeschnittene Rinne, die so weit mit Quecksilber angefüllt wird, dass das schneidige Ende des bei *b* rechtwinklig umgebognen Drahts eben in die Quecksilberfläche eingeht. Von den Drähten *s* und *s'* führt

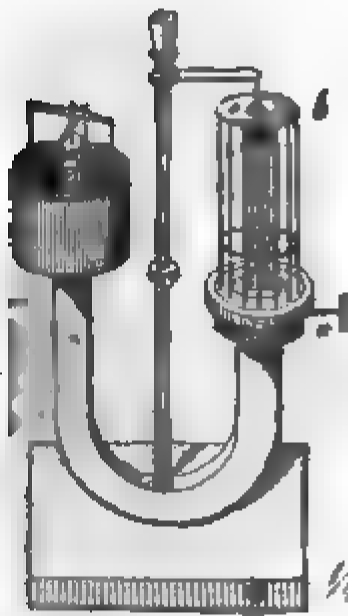
92.



der Rinne, der andere zu dem eisernen Näpfchen;
lie Verbindung mit einem constanten galvanischen
rmitteln. Wird nun dieser Apparat über oder unter
ler andern Pol eines Magnets gestellt, und schliesst
te, so dreht sich der bewegliche Draht um seine
gelingt jedoch dieser Versuch nur dann, wenn die
es Quecksilbers in der Rinne frei von Schmutz und
Näpfchen inwendig verzinnt ist. Denn ohne die
hnte Vorsicht wird die Stahlspitze von dem in das
brachten Quecksilbertropfen nicht hinlänglich umge-
rbrennt daher gleich beim ersten Durchgange des
genügender Beweglichkeit des Drahts, rotirt der-
ohne Beihülfe eines künstlichen Magnets, schon
influsse des senkrechten Theils der erdmagnetischen

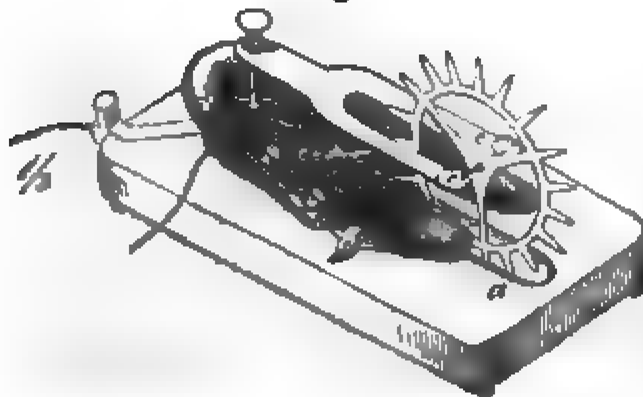
Der in Fig. 193 abgebildete Apparat ist eigentlich
Abänderung des vorhergehenden. D
scheibe *a* in der die Rinne angebracht
schliesst den einen Schenkel eines
stehenden Hufeisenmagnets und lässt
demselben auf- und niederrücken.
einer Schraube wird sie so festgest
mehrere dünne von einer Kupferschei
abgehende Metallstäbe eben das Qu
in der Rinne berühren. In der Mitt
Scheibe, an ihrer unteren Fläche ist ei
spitze eingeschraubt, die in eine fl
tiefung auf der Oberfläche des Magnet
und um welche die Scheibe sammt d
befestigten Stäben sich im Gleichgew
ten. Oben trägt die bewegliche Kupf
ein Quecksilbernäpfchen *c*, in das d
tungsdraht *cd* eingesenkt wird. So wie man nun den einen
Daniell'schen Paares mit diesem Näpfchen, den andern
Quecksilber-Rinne verbindet, beginnt die Bewegung
Magnetpol.

Fig. 193.



Dieselbe Figur zeigt noch eine andere recht belehr
richtung. Zwei Cylinder von Kupferblech von ungleiche
messer, concentrisch gerichtet und mittelst einer ring
Bodenplatte verbunden, bilden eine Art Trog, in welch
verdünnte Schwefelsäure gebracht und ein amalgamir
cylinder eingesenkt wird. Zink und Kupfer umgeben, wie
der Zeichnung sieht, den einen Pol eines Hufeisenmag
hängen an Rahmen von Kupferdraht, welche sich auf Sta
stützen. Die des Kupfertrogs ruht unmittelbar auf der Fl
Magnets und trägt oberhalb ihres Rahmens ein kleines
verzinntes Näpfchen von gehärtetem Eisen, in das die St
des andern Rahmens eingeht. Es entwickelt sich ein el
Strom, der von dem Zink durch die Flüssigkeit zu de
dringt, an dem inneren Rahmen aufwärts steigt, an dem
wieder herabgeht und so wieder zu dem Zinke gelangt u
beiden auf Spitzen
benden Cylinder we
durch genöthigt,
netpol in entgegeng
Richtungen zu umk
es z. B. der positiv
dreht sich der Kupf
Rechten, der ein
Zinkcylinder zur L

Fig. 194.



Die Figur 194 st

at vor, in welchem ein Stromleiter durch die gleichzeitige Einng beider Pole eines Hufeisenmagnets in Bewegung gesetzt Er ist bekannt unter dem Namen des Barlow'schen Räd-. Der Magnet kann aus Stahl verfertigt seyn oder wie es hier iommen ist aus weichem Eisen bestehen und durch eine genü- Anzahl Umwindungen des Leitungsdrahtes erst magnetisch cht werden. Das eine Ende dieses Drahts führt zu einem hen beiden Polen in die Holzunterlage eingeschnittenen chen Troge *a* der mit Quecksilber angefüllt wird, das andere n Verbindung mit einem constanten electrischen Paare, von anderer Seite ein Leitungsdraht zu dem gabelförmigen streifen *bce* geht. An beiden Enden der Gabel bei *c* und *e* 'ertiefungen angebracht, gross genug um einige Tropfen silber aufnehmen zu können. Die Axe des Rädchens ruht in nitten, welche sich am Rande dieser kleinen Quecksilber-r befinden. So kann der Strom zu der Axe und den Speies Rädchens gelangen und von diesen weiter zu den Zinken hen, von welchen immer eine oder zwei in das flüssige les Trogs eintauchen und dadurch die Kette schliessen. Jede durch welche der Strom geht, wird gleichzeitig von beiden :polen fortgestossen und so eine regelmässige Umdrehung .dchens um seine Axe bewirkt. Die stossende Kraft steht ammengesetzten Verhältnisse der magnetischen Kraft der nd der des Stromleiters; sie muss folglich proportional mit adrate der Stromstärke zunehmen.

eisbewegung durch Stromwechsel. Wenn zwischen beiden Polen eines aufrecht stehenden Hufeisenmagnets Fig. 195, ein gerader Electromagnet, um eine vertikale Axe leicht beweglich, aufgestellt ist, so werden die Pole des letzteren von denen des ersteren je nach der Richtung des durch die Windungen laufenden Stroms angezogen oder abgestossen. Gesetzt nun es finde zuerst Anziehung statt, und es lasse sich dahin bringen, im Augenblicke da die grösste Annäherung erreicht und in Folge der erlangten Geschwindigkeit eben überschritten worden ist, die Richtung des Stroms in den Windungen und folglich auch die daraus hervorgehende

Fig. 195.



.t plötzlich umzukehren, so muss Anziehung mit Abstossung ln und der Electromagnet muss bei fortdauernder derartiger ung eine rotirende Bewegung annehmen. Die Lösung diegabe ist zuerst dem Engländer Ritchie auf folgende Art n: Unter dem beweglichen Magnete befindet sich ein ring-

förmiger Quecksilberbehälter aus Holz, der in der Richt
einen zum andern Schenkel des Hufeisens (von *a* nach
eine Holzwand in zwei Abtheilungen ohne leitenden U
geschieden ist*). Die eine lässt sich mit der positiven, di
mit der negativen Seite eines constanten Paars in Ve
setzen. Beide werden mit Quecksilber so weit gefüllt, das
etwas über den Rand der Scheidewand erhebt, ohne je
der einen Abtheilung zur andern überfliessen zu können.
den Windungen des Electromagnets herabhängenden Di
können auf diese Weise mit dem Quecksilber in Berühr
men, ohne doch an die Scheidewand zu streifen. Es ist
leuchtend dass der Strom, je nach der Stellung des r
Eisenstabs, abwechselnd in das eine Drahtende und n
halben Umdrehung in das andere eindringen und dadurc
im rechten Augenblicke den Wechsel der Pole bewirken

Der feststehende Magnet darf ebenfalls ein Electromag
Die bewegende Kraft wächst dann bei zunehmender St
mit dem Quadrate derselben und, wenn auch die Windu
beide Eisenstücke gleichmässig vermehrt werden, überdi
mit dem Quadrate der Anzahl Umwindungen. Die Triebkra
auf diese Weise erzielt werden kann, scheint demnach oh
zu seyn. Jakobi hat jedoch gezeigt, dass wenn eine
Kraft dem Quadrate der Windungen proportionirt ist, an
der unter ihrem Impulse zurückgelegte Weg im umgekel
hältnisse zum Quadrate der Windungen steht, dergestalt d
die Anzahl Windungen in Betreff des mechanischen Effec
gewonnen werden kann.

Die Möglichkeit unter dem Einflusse eines fest stehe
tromagnets eine regelmässig fortdauernde Umdrehung
weglichen Electromagnets zu bewirken, hat den Geda
weckt, den Electromagnetismus als Betriebskraft einer
zu benutzen. Es scheint, dass Jakobi, damals in Königs
Wagner in Frankfurt fast gleichzeitig oder doch ohne
ander zu wissen, diese Idee auffassten und dieselbe zu v
sich bemühten. Bald wurden indessen ihre Bestrebunge
und erregten während einiger Zeit die allgemeinste Auf
keit. Die ausserordentlich grosse und wie es den Ansch
fast unbegränzte Kraft, welche dem Eisen mit Hülfe sta
trischer Ströme ertheilt werden kann, spannte die Erw
aufs höchste und schien in der That die glänzendsten H
rechtfertigen zu müssen. Selbst Männer der Wissenscha

---

*) In der Figur erscheinen sternförmig geordnet noch andere
Metall durchschneidende Holzwände; sie gehen jedoch nicht bis an
der Behälter und unterbrechen folglich nicht den Zusammenhang d
Inhaltes. Sie sind überdiess unwesentlich und dürften wegbleiben.

rch geblendet und vergassen oder übersahen, dass nach
ıeinen Gesetzen der Mechanik die Wirkung nicht von der
e einer Kraft, sondern von dem Verbrauche abhängt, der hier
iter Instanz auf der Menge aufgelösten Zinkes beruht. Ja-
(Pogg. Ann. B. 51. S. 364) erwarb sich das Verdienst die
en des möglichen Effectes electromagnetischer Maschinen
ıstellen, und hat hierdurch bewiesen, dass der Electromag-
ıus als Betriebskraft denselben Bedingungen wie andere be-
nde Kräfte unterliegt. Jakobi hat übrigens eine electromag-
he Maschine erbaut die $\frac{3}{4}$ — 1 Pferdekraft ausübte und da-
die Ausführbarkeit des Gedankens ausser Zweifel gestellt.
ıützliche Anwendung für die Gewerbe scheiterte nur an der
grossen Kostbarkeit der neuen Kraft. Dass der Erfolg kein
er seyn konnte begreift man, wenn man erwägt, dass zur
ımännischen Gewinnung des metallischen Zinks ein Aufwand
llein an Brennmaterial erfordert wird, der in Wärme verwan-
nd zum Betriebe einer Dampfmaschine verwendet, einen Ef-
ibt wenigstens von gleicher Grösse, als durch Auflösung,
Verbrennung des Zinks in der electrischen Kette denkbarer
s erzielt werden kann.

13. Electro-magnetische Telegraphie. Der electrische
ı in Folge seiner merkwürdigen Eigenschaft, gewisse Wir-
en durch sehr lange Leiter mit einer Geschwindigkeit fort-
en zu können, die selbst diejenige des Lichtstrahls übertrifft,
h höchst wichtiges Hülfsmittel der telegraphischen Mittheilung
rden. Schon vor beinahe 40 Jahren hat Sömmering*) die
ische Wasserzersetzung hierzu vorgeschlagen. Bei der
chen Schwierigkeit auf diesem Wege zusammengesetzte
ilungen zu machen, blieb diese Idee im Grossen unausgeführt
gerieth fast in Vergessenheit. Lange Zeit nachher, erst im
1833 gelang es Gauss und Weber durch glückliche Be-
ng der magnetischen Wirkungen des Stroms die Möglichkeit
Mittheilungsweise zur unzweifelhaften Thatsache zu machen.
parallel laufende isolirte Kupferdrähte wurden aus dem phy-
chen Kabinet in Göttingen nach der ungefähr $\frac{1}{4}$ Meile ent-
ı Sternwarte geleitet und konnten an jedem dieser Endpuncte
n Multiplicatordrahte eines Magnetometers so wie mit einem
eten electromotorischen Apparate verbunden werden. Je
er Richtung welche man dem Strome gab, konnte nun die
lern Endpuncte befindliche Magnetometernadel willkührlich
oder links bewegt werden und hierdurch war ein Mittel ge-
zwei verschiedene Zeichen hervorzubringen, durch deren
che Combination eine für die Telegraphirung genügende
Signale gewonnen werden konnte. Wirklich wurde diese

*) enkschriften der Kgl. Akad. d. Wiss. München 1809.

Kette gleich von Anfang an oft zu telegraphischer
nutzt, nicht bloss zu einfachen, um täglich die Uhren zu
sondern versuchsweise auch zu zusammengesetzte
und ganze Phrasen zu signalisiren*). Wenn also
mit Recht als der Erfinder der electromagnetischen
betrachtet werden muss, so verdankt man doch
Weber die erste Anlage einer Telegraphenlinie. E
siger Gebrauch bei der beschriebenen Anordnung v
die unausgesetzte Aufmerksamkeit der Beobachter
genommen haben. Dieser Unbequemlichkeit suchte S
einer schon ausgedehnteren Anlage, welche er in M
führte, dadurch abzuhelfen, dass er zwei mit ungl
schlagende Glocken neben der Magnetnadel anbrac
jeder Seite derselben. Eine jede Ablenkung der Nade
durch einen bald höheren bald tieferen Ton angezeigt
liess sich die Richtung derselben beurtheilen. Durch e
Zusatz zu diesem Apparat ist es nicht einmal nothwen
Beobachter während des Spiels des Telegraphen zu
dem die Signale durch eine Maschinerie des Apparat
gezeichnet werden. Es ist nämlich dicht unter ein
beiden Glocken ein kleiner Winkelhebel angebrach
dass der eine aufwärts gebogene Arm desselben jed
zeitig mit der Glocke von der Magnetstange bewegt
dere horizontale Arm drückt dann eine besondere Ar
gegen ein, von einem Uhrwerk in langsamer Bewegu
Papier, auf welchem hierdurch ein Punct aufgetragen
Zeichenstifte sind nahe bei einander in einer gegen
der Bewegung des Papiers winkelrechten Linie au
von denselben aufgetragenen Puncte werden folglich
mit einander parallelen Linien geordnet, dergestalt d
graphischen Signale welche gegeben werden soll
einem Blicke erkennen lassen. Eine andere von S
gegebene höchst bemerkenswerthe Veränderung in
schen Telegraphen besteht darin, dass er an der Ste
der beiden Leitungsdrähte die Leitfähigkeit der Erde
wusste. Er hat nämlich gezeigt, dass so wenig le
schichten auch sind, sie gleichwohl wie die metall
zur Fortpflanzung des Stroms verwendet werden k
man sie nur mit einer hinreichend grossen und mit d
zusammenhängenden Metallplatte in Berührung setzt
verschiedenen Anordnungen und Verbesserungen v
lichkeit, Signale auch auf beträchtliche Entfernungen h
zu können, festgestellt, die Handhabung des Apparat

*) Result. a. d. Beobacht. des magnet. Vereins im J. 1837. S.

bequem geworden, dem täglichen und regelmässigen Geиche stand kein eigentliches Hinderniss mehr im Wege.

Fast gleichzeitig mit Steinheil haben auch mehrere ausländhe Gelehrte die Erfindung der Göttinger Naturforscher weiter zubilden gesucht. Der Amerikaner Morse ersetzte die Magnetel durch einen Electromagneten der, je nachdem er unter dem üsse eines electrischen Stroms magnetisch gemacht wurde, r durch Unterbrechung des Stroms seinen Magnetismus wieder lor, die Fähigkeit erhielt, eine Platte von weichem Eisen anziehen und wieder fallen zu lassen. Vorsselmann de Heer Deventer glaubte in den physiologischen Wirkungen des Stroms noch geeigneteres Mittel für die telegraphische Signalisirung weite Entfernungen hin gefunden zu haben und hat nach diea Grundsatze einen Telegraphen von eigenthümlicher Einrichg ausführen lassen. Seine Vorschläge scheinen bis jetzt keinen gemeineren Beifall gewonnen zu haben. Die meisten Verdienste die Vereinfachung des electro-magnetischen Telegraphen und seinen Gebrauch im ausgedehntesten Maassstabe hat sich in letzten Jahren Wheatstone erworben, der ausgerüstet mit nem Scharfsinne und von englischem Patriotismus aufs glänidste unterstützt, mehr als jeder andere Naturforscher die Mittel ielt, die ganze Eigenthümlichkeit dieses merkwürdigen Appaes gründlich zu studiren. Seine ersten Telegraphen sind nach m Princip der Ablenkung einer Magnetnadel ausgeführt. Bei den lter bekannt gewordenen, jetzt aber schon mehrfach beschrieen Wheatstone'schen Zeiger-Telegraphen ist dem oben erläuten Princip des Amerikaners Morse der Vorzug gegeben. r Zeiger-Telegraph empfiehlt sich sowohl durch die Einfachheit r Einrichtung wie durch die Leichtigkeit des Gebrauchs. Die gur 196. Pl. IV. zeigt einen solchen Apparat, jedoch mit etwas geänderter Gestalt. Derselbe ist von Herrn Drescher in Kassel sgeführt worden. Die Grundidee ist die des Wheatstone'schen elegraphen. In der Ausführung finden sich aber verschiedene erdnungen, die wenigstens in dieser Zusammenstellung Herrn escher eigenthümlich sind und die man als wirkliche Verbesungen betrachten muss.

schreibung des Telegraphen:

A. Electromagnet in Hufeisenform.

B. Hebel, welcher um die Axe *u u'* beweglich ist.

CC. Stab aus weichem Eisen, der an dem Hebel *B* befestigt ist und mittelst desselben den Polen des Magneten genähert oder auch davon entfernt werden kann.

D. Feder zum schnellen Abdrücken des Hebels von den Magnetpolen, so oft die magnetische Kraft derselben verschwindet. Der Hebel ist übrigens so gestellt, dass der daran hängende Anker *C* mit den Polen niemals in völlige Berührung kommen kann.

E. Stäbe, die mit dem Hebel durch ein Gelenke bei *F* verbunden sind und in Folge der oscillirenden Bewegung des Hebels das Sperrrad *G* fort-

-schieben, zugleich aber auch vermöge der Art ihres Eingriffs in des Sperrrads eine rückwärtsgehende Bewegung desselben ve

H. Feder, die zum Zusammenziehen der Stäbe dient.

W. Zeigeraxe. Sie trägt das Sperrrad und zugleich den Zeiger *W* mit dem Sperrrad, ähnlich wie der Zeiger einer Uhr gedreht geht vor den auf der Scheibe *L L* im Kreise herum angebrachte z. B. den Buchstaben des Alphabets vorüber, und bleibt vor ei bigen derselben stehen, so wie man den Hebel *D* zum Stillstan

RR. Zeichenscheibe. Die Zeichen sind am Rande derselben genau i nung aufgetragen wie auf dem Zeigerblatte *L L.* Sie ruht in v Lage auf drei Füssen.

NN. Die Wechselscheibe ist concentrisch mit der vorhergehenden, tiefer angebracht, und lässt sich mittelst der Handhabe *R O* un rechte Axe *O* bewegen. Ihr äusserer Rand ist, ähnlich wie die S Neff'schen Blitzrades zackig ausgeschnitten und die dadur denen Lücken sind mit dichtem Holze ausgefüllt.

p. Metallfeder, die an einem Fusse der Zeichenscheibe befesti gegen den Rand der Wechselscheibe drückt. Sie steht mit ein draht in Verbindung, der zu dem Electromagnet der andern St Ein ähnlicher Kupferdraht geht von der Wechselscheibe zu de motorischen Apparate und von da weiter ebenfalls zu der ande Einer dieser Leitungsdrähte kann, wie Steinheil zuerst g durch den Erdboden ersetzt werden. Wird nun die Wechsels telst ihrer Handhabe in Bewegung gesetzt, so drückt die F auf Metall, bald auf Holz; dadurch wird die Kette abwec schlossen und wieder geöffnet, der Electromagnet thätig u unthätig. Der Hebel *B* beginnt zu oscilliren und dadurch S und Zeiger fortzuschieben.

Es ist nun einleuchtend, dass wenn die Handhabe *R O* und der anfangs auf dasselbe Zeichen eingestellt waren, letzterer auch g mit dem ersteren fortrückt und dass endlich, wenn man die Handhab einem Zeichen stehen lässt, der Zeiger auf eben demselben stehen b

Ein wichtiger Bestandtheil des Telegraphen ist das Lärmsignal, Bestimmung hat, den Beobachter an der andern Station aufmerksam Die Einrichtung dieses Zubehörs ist übrigens einfach und im Wese eines Weckers.

J stellt ein Zahnrad vor, hinter welchem, und damit zusammenh die Trommel zur Aufnahme einer starken Uhrfeder befindet;

K ein Getriebe, welches in die Zähne des Rades *J* eingreift;

L ein Sperrrad, das mit dem Getriebe *K* fest verbunden ist. Bei selbe einen Stift, der sich auf einen vorstehenden Ansatz des und dadurch, so lange letzterer in Ruhe bleibt, eine Bewegung rades verhindert. So wie aber der Hebel durch das Schliesse angezogen wird, gleitet der Ansatz unter dem Stifte *a* we Schlagwerk setzt sich in Bewegung, bis man es durch Vors Schubstange *M* unter das Stift *b* wieder zur Ruhe bringt.

Herr Drescher hat den Zeiger-Telegraphen noch neuerdings einfacht und die Beweglichkeit seines Triebwerks auf überrasch vervollkommnet. Die Brauchbarkeit desselben, um Signale auf we nungen hin zu geben, ist dadurch bedeutend erhöht worden. Das D Veränderungen ist jedoch bis jetzt Geheimniss geblieben.

Soll ein electromagnetischer Telegraph für die Benu weite Entfernungen hin eingerichtet werden, so ist di Berechnung der Dicke des Leitungsdrahts eine höchst Frage. Auf die Drahtdicke ist von Einfluss: die Stromstärk erfordert wird, um das Triebwerk in regelmässiger Bew

en, also der Grad der Beweglichkeit des letzteren, ferner die iaffenheit und Anzahl galvanischer Paare welche verwendet en können, und endlich die Drahtlänge. Angenommen man habe i die Prüfung mit einer guten Tangentenbussole gefunden, dass inem gegebnen Instrumente, zur Erhaltung eines sicheren und mässigen Ganges, die dem Ablenkungswinkel α entsprechende stärke erfordert werde. Die Drahtlänge sey L; der Leiwiderstand für die Längeneinheit, bei dem Querschnitte f sey glich bei dem Querschnitte $F = \frac{Lrf}{F}$ *); es sey ferner K die eines electromotorischen Paares, ϱ der Leitungswiderstand nern desselben, n die Anzahl der Paare, so ist nach dem schen Gesetze $\operatorname{tng} \alpha = \frac{nK}{n\varrho + \frac{Lrf}{F}}$; daher der gesuchte :hnitt des Drahtes: $F = \frac{Lrf \operatorname{tng} \alpha}{n(K - \varrho \operatorname{tng} \alpha)}$.

ese Gleichung lehrt, dass der Draht in demselben Verhältdünner genommen werden kann, als man die zum Betriebe imte Anzahl galvanischer Paare vermehrt; noch mehr kommt auf den leichten Gang des Triebwerks an; ein Umstand der mehr Berücksichtigung verdient, weil der Gebrauch einer en Anzahl Paare unbequem und kostspielig ist.

4. Die Grundgesetze des Electromagnetismus sind bald nach itdeckung desselben durch die Bemühungen mehrerer Naturer, hauptsächlich aber durch scharfsinnige Untersuchungen re's erkannt und experimentell begründet worden. Amwurde im Verfolge dieser Arbeiten zu einer Theorie des itismus geleitet, die von der gewöhnlicheren Vorstellungsdes wirklichen Vorhandenseyns zweier magnetischer Flüsten wesentlich abweicht. Anstatt nämlich den freien Magius des Eisens als eine Folge zu betrachten der Scheidung n Innern eines jeden Atoms vorhandenen neutralen maghen Fluidums in seine zwei Bestandtheile, wird derselbe von schen Strömen abgeleitet, die sich ohne Aufhören um jedes ntheilchen bewegen. Je zwei Theilchen dieser Elementare, mögen sie nun einander anziehen oder abstossen, wirken Richtung der geraden Linie welche sie verbindet. Die Stärke wechselseitigen Einwirkung steht im zusammengesetzten en Verhältnisse ihrer Länge und Stromstärke **), im verkehr-

---

*) Der Leitungswiderstand r sey z. B. in Regulatorwindungen ausgedrückt, itet f den Querschnitt des Regulatordrahts. Auf denselben Regulatorezieht sich dann auch der Zahlenausdruck von K und ϱ.

**) Die Stromstärke ist hier nach der Electricitätsmenge zu schätzen, welche d der Zeiteinheit durch den Querschnitt fliesst.

ten zum Quadrate ihres Abstandes und ist ausserdem noch von den Richtungen beider Stromtheilchen gegen einander und gegen ihre Verbindungslinie abhängig. Je zwei parallele Stromtheilchen, die in gleichem Sinne laufen, ziehen sich an; sie stossen sich aber ab, wenn die Richtungen ihrer Bewegung entgegengesetzt sind. Die magnetische Polarität der Atome des Eisens ist hiernach von ganz ähnlicher Natur wie die eines Kreisstromes, d. h. jeder solcher Elementar-Kreisstrom äussert nach der linken Seite seiner Richtung (beziehungsweise auf den Mittelpunct) das ganze Verhalten eines positiven, nach der rechten das eines negativen Magnetpols.

Die Wirkung des Magnetisirens würde dieser Ansicht gemäss darin bestehen, den Elementarströmen, die im natürlichen Zustande die mannichfaltigsten Richtungen haben, eine gleichlaufende Richtung zu ertheilen, dergestalt, dass sie sich in ihrer Wirksamkeit nach Aussen wechselseitig unterstützen und sich ähnlich wie die Elemente des schraubenförmig gewundenen Stroms zu einer Reihe auf einander folgender Kreisströme ergänzen. Im Sinne der Ampère'schen Theorie ist auch die erdmagnetische Kraft eine Folge paralleler electrischer Ströme, welche in der Richtung von Ost nach West die Erde umkreisen.

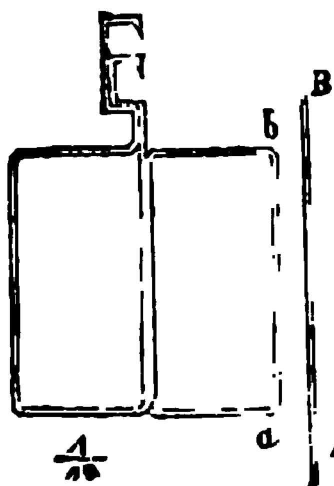
Will man diese Hypothese als die wahre Grundlage der Erscheinungen, zu deren Erklärung sie aufgestellt ist, nicht gelten lassen, so muss man ihr doch immerhin den Werth eines vortrefflichen, ja des bis jetzt einzig bekannten Hülfsmittels zugestehen, um die magnetischen, die electromagnetischen und die folgenden von Ampère entdeckten electrodynamischen Erscheinungen unter einen gemeinsamen Gesichtspunct zu bringen.

Electrodynamik.

445. Man versteht unter Electrodynamik und electrodynamischen Erscheinungen die Wirkungen electrischer Ströme auf einander.

Betrachten wir zunächst zwei geradlinigte Ströme die parallel neben einander hergehen. Man nähere einen geraden Kupferdraht, dessen Endpuncte mit den Polen einer galvanischen Kette verbunden sind, der einen oder andern senkrechten Seite des astatischen Stromleiters (Fig. 197) und lasse durch den letzteren denselben oder auch einen andern electrischen Strom gehen. Der bewegliche Draht *ab* wird sogleich von dem unbeweglichen *AB* angezogen oder abgestossen werden, je nachdem die sich begegnenden Ströme oder richtiger Stromstücke in gleichem oder in entgegengesetztem

Fig. 197.

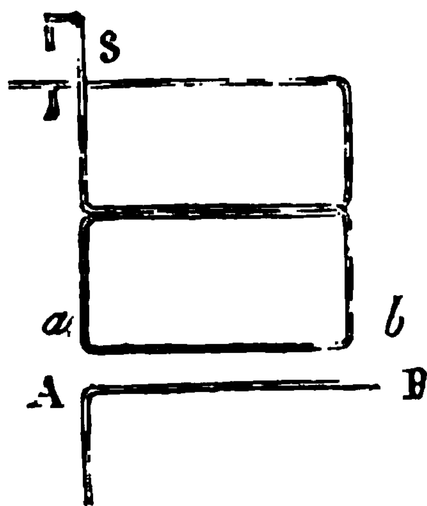


Sinne laufen. Im ersten Falle oscillirt das bewegliche lurch die von seiner Axe und dem senkrechten Drahte ildete Ebne, im zweiten Falle sucht es eine zu dieser ıkelrechte Stellung zu behaupten. Hieraus folgt: dass e Ströme einander anziehen, wenn sie sich in m Sinne bewegen, im umgekehrten Falle aber ıtossen. Die Anstellung des Versuchs erfordert übrigens electrische Ströme, z. B. 4 Bunsen'sche Elemente zu are geordnet und Drähte von entsprechender, wenigstens ıtre Dicke.

in der Richtung der Linie *AB* zwei Drähte isolirt neben liegen und wenn der Strom durch den einen aufwärts, ı andern wieder zurückgeht, so bemerkt man keine Ein- ıuf den beweglichen Leiter. Die Wirkungen gleicher, ichtung entgegengesetzter Stromlängen heben o bei gleicher Intensität wechselseitig auf.

ein geradlinigter Draht *AB* unter der senkrechten Axe ı Fig. 198 abgebildeten astatischen Vierecks in wage- ıge so angebracht, dass die durch die Linien *as* und *AB* Ebne mit derjenigen des beweglichen Vierecks einen beliebigen Winkel bildet, und leitet man den eindringenden Strom in der Weise, dass er sich in den beiden Drähten *AB* und *ab* entweder gegen den Scheitelpunct des Winkels, welchen sie einschliessen, bewegt oder sich in beiden von diesem Puncte entfernt, so dreht sich das bewegliche Viereck gegen die Ebne *ABs* und bleibt nach einer Reihe von Schwingungen in derselben stehen. Der ht dann in den beiden Drähten *AB* und *ab* nach einerlei . Wechselt man diese Richtung in dem einen Drahte, so bewegliche Leiter abgestossen und beschreibt bei hinr Stärke der Ströme einen Bogen von 180°.

Fig. 198.



ziehen aus diesen Versuchen die Folgerung: dass ge- ;te electrische Ströme, welche in verschiede- chtungen nach demselben Punct hinfliessen eichzeitig sich davon entfernen, einander an- dass sie sich aber abstossen, wenn sich der gen einen Punct hin bewegt, von dem sich der entfernt.

ˈy *ab* ein geradlinigter Strom, dessen Leitungsdraht um t *a**) beweglich ist. Ein anderer Strom *AB* der an *ab*

über dem Puncte *a* liegenden Theile des Drahts, muss man sich nicht trome durchflossen denken, sie dienen nur, um dem unteren Theile ıhung um den Punct *a* ein Gegengewicht zu bilden.

ten zum Quadrate ihres Abstandes und ist ausserdem n
den Richtungen beider Stromtheilchen gegen einander un
ihre Verbindungslinie abhängig. Je zwei parallele Stromt
die in gleichem Sinne laufen, ziehen sich an; sie stos:
aber ab, wenn die Richtungen ihrer Bewegung entgege
sind. Die magnetische Polarität der Atome des Eisens
nach von ganz ähnlicher Natur wie die eines Kreisstro
jeder solcher Elementar-Kreisstrom äussert nach der link
seiner Richtung (beziehungsweise auf den Mittelpunct) da
Verhalten eines positiven, nach der rechten das eines n
Magnetpols.

Die Wirkung des Magnetisirens würde dieser Ansicht
darin bestehen, den Elementarströmen, die im natürlichen Z
die mannichfaltigsten Richtungen haben, eine gleichlaufen
tung zu ertheilen, dergestalt, dass sie sich in ihrer Wirk
nach Aussen wechselseitig unterstützen und sich ähnlich
Elemente des schraubenförmig gewundenen Stroms a
Reihe auf einander folgender Kreisströme ergänzen. Im S
Ampère'schen Theorie ist auch die erdmagnetische Kr
Folge paralleler electrischer Ströme, welche in der Richt
Ost nach West die Erde umkreisen.

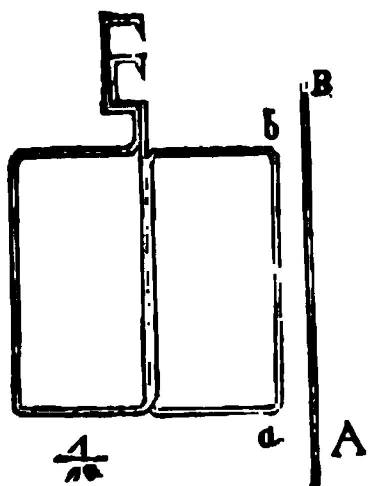
Will man diese Hypothese als die wahre Grundlage
scheinungen, zu deren Erklärung sie aufgestellt ist, nicl
lassen, so muss man ihr doch immerhin den Werth eines
lichen, ja des bis jetzt einzig bekannten Hülfsmittels zug
um die magnetischen, die electromagnetischen
folgenden von Ampère entdeckten electrodynamisc
scheinungen unter einen gemeinsamen Gesichtspunct zu

Electrodynamik.

445. Man versteht unter Electrodynamik und electro
schen Erscheinungen die Wirkungen electrischer Strö
einander.

Betrachten wir zunächst zwei geradlinigte Ströme die

Fig. 197.



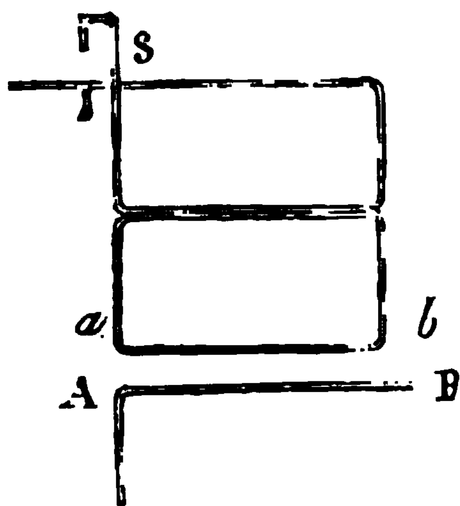
neben einander hergehen. Man nähere e
raden Kupferdraht, dessen Endpuncte
Polen einer galvanischen Kette verbun
der einen oder andern senkrechten Seite
tischen Stromleiters (Fig. 197) und las
den letzteren denselben oder auch einen
electrischen Strom gehen. Der beweglic
ab wird sogleich von dem unbeweglic
angezogen oder abgestossen werden, je
die sich begegnenden Ströme oder
Stromstücke in gleichem oder in entg

Sinne laufen. Im ersten Falle oscillirt das bewegliche durch die von seiner Axe und dem senkrechten Drahte ›ildete Ebne, im zweiten Falle sucht es eine zu dieser inkelrechte Stellung zu behaupten. Hieraus folgt: dass ›le Ströme einander anziehen, wenn sie sich in em Sinne bewegen, im umgekehrten Fallo aber ›stossen. Die Anstellung des Versuchs erfordert übrigens electrische Ströme, z. B. 4 Bunsen'sche Elemente zu 'aare geordnet und Drähte von entsprechender, wenigstens lmtre Dicke.

ın in der Richtung der Linie *AB* zwei Drähte isolirt neben r liegen und wenn der Strom durch den einen aufwärts, en andern wieder zurückgeht, so bemerkt man keine Ein- ; auf den beweglichen Leiter. Die Wirkungen gleicher, Richtung entgegengesetzter Stromlängen heben lso bei gleicher Intensität wechselseitig auf.

l ein geradlinigter Draht *AB* unter der senkrechten Axe in Fig. 198 abgebildeten astatischen Vierecks in wage- Lage so angebracht, dass die durch die Linien *as* und *AB* › Ebne mit derjenigen des beweglichen Vierecks einen

Fig. 198.



beliebigen Winkel bildet, und leitet man den eindringenden Strom in der Weise, dass er sich in den beiden Drähten *AB* und *ab* entweder gegen den Scheitelpunct des Winkels, welchen sie einschliessen, bewegt oder sich in beiden von diesem Puncte entfernt, so dreht sich das bewegliche Viereck gegen die Ebne *ABs* und bleibt nach einer Reihe von Schwingungen in derselben stehen. Der eht dann in den beiden Drähten *AB* und *ab* nach einerlei g. Wechselt man diese Richtung in dem einen Drahte, so r bewegliche Leiter abgestossen und beschreibt bei hiner Stärke der Strömo einen Bogen von 180°.

ziehen aus diesen Versuchen die Folgerung: dass gegte electrische Ströme, welche in verschiede- ichtungen nach demselben Punct hinfliessen ·leichzeitig sich davon entfernen, einander an- ; dass sie sich aber abstossen, wenn sich der egen einen Punct hin bewegt, von dem sich der › entfernt.

ıey *ab* ein geradlinigter Strom, dessen Leitungsdraht um ıct *a**) beweglich ist. Ein anderer Strom *AB* der an *ab*

: über dem Puncte *a* liegenden Theile des Drahts, muss man sich nicht Strome durchflossen denken, sie dienen nur, um dem unteren Theile rehung um den Punct *a* ein Gegengewicht zu bilden.

ten zum Quadrate ihres Abstandes und ist ausserdem n
den Richtungen beider Stromtheilchen gegen einander un
ihre Verbindungslinie abhängig. Je zwei parallele Stromt
die in gleichem Sinne laufen, ziehen sich an; sie stoss
aber ab, wenn die Richtungen ihrer Bewegung entgege
sind. Die magnetische Polarität der Atome des Eisens i
nach von ganz ähnlicher Natur wie die eines Kreisstron
jeder solcher Elementar-Kreisstrom äussert nach der linke
seiner Richtung (beziehungsweise auf den Mittelpunct) da
Verhalten eines positiven, nach der rechten das eines ne
Magnetpols.

Die Wirkung des Magnetisirens würde dieser Ansicht
darin bestehen, den Elementarströmen, die im natürlichen Z
die mannichfaltigsten Richtungen haben, eine gleichlaufen
tung zu ertheilen, dergestalt, dass sie sich in ihrer Wirk
nach Aussen wechselseitig unterstützen und sich ähnlich
Elemente des schraubenförmig gewundenen Stroms z
Reihe auf einander folgender Kreisströme ergänzen. Im Si
Ampère'schen Theorie ist auch die erdmagnetische Kr
Folge paralleler electrischer Ströme, welche in der Richtu
Ost nach West die Erde umkreisen.

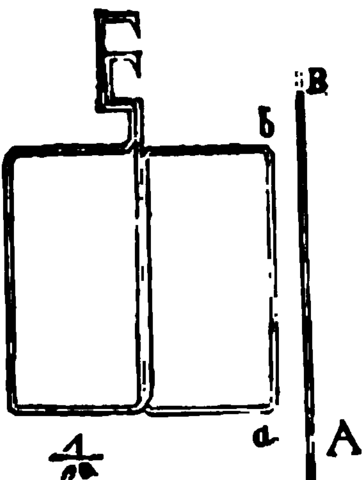
Will man diese Hypothese als die wahre Grundlage
scheinungen, zu deren Erklärung sie aufgestellt ist, nich
lassen, so muss man ihr doch immerhin den Werth eines
lichen, ja des bis jetzt einzig bekannten Hülfsmittels zug
um die magnetischen, die electromagnetischen
folgenden von Ampère entdeckten electrodynamisc
scheinungen unter einen gemeinsamen Gesichtspunct zu b

Electrodynamik.

445. Man versteht unter Electrodynamik und electro
schen Erscheinungen die Wirkungen electrischer Strö
einander.

Betrachten wir zunächst zwei geradlinigte Ströme die
neben einander hergehen. Man nähere ei
raden Kupferdraht, dessen Endpuncte
Polen einer galvanischen Kette verbund
der einen oder andern senkrechten Seite d
tischen Stromleiters (Fig. 197) und lass
den letzteren denselben oder auch einen
electrischen Strom gehen. Der beweglic
ab wird sogleich von dem unbeweglic
angezogen oder abgestossen werden, je n
die sich begegnenden Ströme oder
Stromstücke in gleichem oder in entg

Fig. 197.

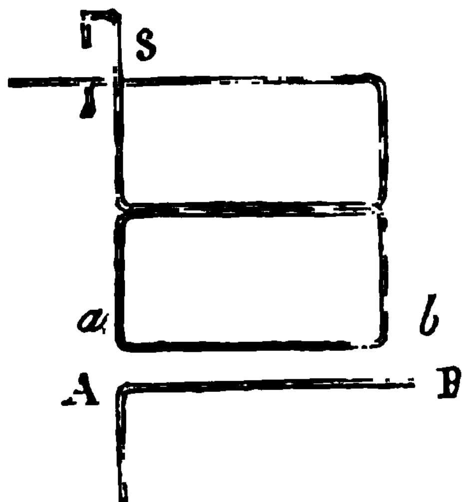


Sinne laufen. Im ersten Falle oscillirt das bewegliche durch die von seiner Axe und dem senkrechten Drahte bildete Ebne, im zweiten Falle sucht es eine zu dieser inkelrechte Stellung zu behaupten. Hieraus folgt: dass le Ströme einander anziehen, wenn sie sich in em Sinne bewegen, im umgekehrten Falle aber stossen. Die Anstellung des Versuchs erfordert übrigens electrische Ströme, z. B. 4 Bunsen'sche Elemente zu 'aare geordnet und Drähte von entsprechender, wenigstens lmtre Dicke.

n in der Richtung der Linie *AB* zwei Drähte isolirt neben r liegen und wenn der Strom durch den einen aufwärts, en andern wieder zurückgeht, so bemerkt man keine Ein- auf den beweglichen Leiter. Die Wirkungen gleicher, Richtung entgegengesetzter Stromlängen heben lso bei gleicher Intensität wechselseitig auf.

l ein geradlinigter Draht *AB* unter der senkrechten Axe in Fig. 198 abgebildeten astatischen Vierecks in wage- Lage so angebracht, dass die durch die Linien *as* und *AB* Ebne mit derjenigen des beweglichen Vierecks einen beliebigen Winkel bildet, und leitet man den eindringenden Strom in der Weise, dass er sich in den beiden Drähten *AB* und *ab* entweder gegen den Scheitelpunct des Winkels, welchen sie einschliessen, bewegt oder sich in beiden von diesem Puncte entfernt, so dreht sich das bewegliche Viereck gegen die Ebne *ABs* und bleibt nach einer Reihe von Schwingungen in derselben stehen. Der eht dann in den beiden Drähten *AB* und *ab* nach einerlei g. Wechselt man diese Richtung in dem einen Drahte, so r bewegliche Leiter abgestossen und beschreibt bei hiner Stärke der Ströme einen Bogen von 180°.

Fig. 198.



ziehen aus diesen Versuchen die Folgerung: dass gegte electrische Ströme, welche in verschiedeichtungen nach demselben Punct hinfliessen leichzeitig sich davon entfernen, einander an- ; dass sie sich aber abstossen, wenn sich der egen einen Punct hin bewegt, von dem sich der entfernt.

sey *ab* ein geradlinigter Strom, dessen Leitungsdraht um ct *a**) beweglich ist. Ein anderer Strom *AB* der an *ab*

über dem Puncte *a* liegenden Theile des Drahts, muss man sich nicht Strome durchflossen denken, sie dienen nur, um dem unteren Theile rehung um den Punct *a* ein Gegengewicht zu bilden.

Fig. 199.



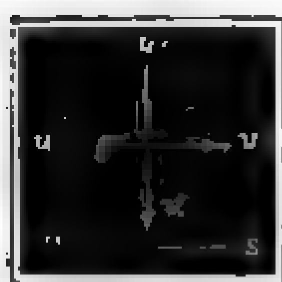
vorübergeht oder denselben, so wie es Fig. 191 andeutet, rings umgibt, muss ihn bei genügender Stärke der Einwirkung in eine rotirende Bewegung versetzen, und zwar muss sich der Punct *b* im Sinne der durch die Pfeile angedeuteten Stromsrichtung von der Rechten zur Linken drehen. Die Möglichkeit einer solchen Kreisbewegung ergibt sich aus dem vorhergehenden Erfahrungsgesetze als eine nothwendige Folge. Der Versuch ist mit Hülfe des in Fig. 192 abgebildeten Apparates leicht ausführbar. Statt nämlich einen Magnetpol über oder unter den beweglichen Draht zu halten, umgibt man denselben mit einem Gewinde von dickem Drahte und lässt einen kräftigen Strom zu gleicher Zeit durch dieses Gewinde und durch den beweglichen Draht gehen.

Nach der Ampère'schen Hypothese beruht die durch einen Magnetpol (Fig. 192) oder die durch den Erdmagnetismus bewirkte Rotation auf einer wechselseitigen Einwirkung von ganz ähnlicher Natur wie die so eben beschriebene.

Die Wirkungen eines Stroms der in geschlängelter Bahn nach einer gewissen Hauptrichtung fortschreitet, sind denen eines geradlinigten von gleicher Hauptrichtung gleich, denn sie werden durch diejenigen eines geradlinigten und entgegengesetzt gerichteten Stromes vollständig aufgehoben. Hieraus geht hervor, dass die Stärke der wechselseitigen Einwirkung zweier Stromtheile, bei unverändertem Abstande wesentlich von ihrer gegenseitigen Lage abhängig ist und dass dieselbe bei gewissen Stellungen sogar Null werden muss.

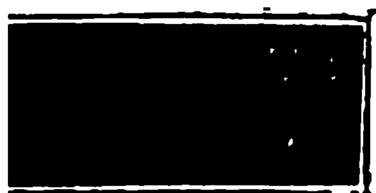
446. Aus dem Verhalten geradlinigter paralleler Ströme muss man schliessen, dass je zwei Stromelemente *rs* und *uv* (Fig. 200) die einander parallel gegenüber und auf ihrer Verbindungslinie rechtwinklig stehen, sich anziehen, wenn sie nach gleicher Richtung fortschreiten, aber sich abstossen, wenn die Richtungen ihrer Bewegungen entgegengesetzt sind. Ferner ergibt sich aus dem Verhalten geradlinigter Ströme die einen Winkel bilden die nothwendige Folge: dass zwei Stromelemente, deren Verbindungslinie und verlängerte Richtungen ein Dreieck einschliessen, sich anziehen, wenn sie sich beide gegen den Scheitelpunct des Winkels bewegen oder beide sich davon entfernen, dass aber Abstossung erfolgt, wenn nur das eine gegen den Scheitelpunct geht, das andere sich davon entfernt. Angenommen nun das Element *uv* mache eine halbe Umdrehung um seinen Mittelpunct, so geht die gegen *rs* ausgeübte Anziehung in Abstossung

Fig. 200.



' oder umgekehrt. Zwischen beiden Lagen muss es
ɔ eine dritte geben, in welcher weder Anziehung
h Abstossung erfolgt. Diese kann nun keine an-
e seyn als die Lage *u'v'*, in welcher die Richtungs-
e des einen Elementes auf der Mitte des andern
krecht steht. Bei jeder anderen Stellung des Elementes *uv*
enüber von *rs* bilden beider Richtungen die Seiten eines Win-
. Beide müssen sich daher je nach der Art ihrer Bewegung
ehen oder abstossen. Der Winkel den sie bilden sey α, so
ı man sich vorstellen, dass das Element *uv* beziehungsweise
ıeiner Wirksamkeit aus zwei Theilen: *uv* cos α und *uv* sin α
ehe, von welchen der erstere, der wirksame Theil mit *rs*
:hlaufend ist, der andere, der unwirksame auf *rs* senkrecht
t. Man sieht nun leicht dass die Grösse der wechselseitigen
virkung zweier Stromtheile um so geringer ausfallen muss, je
r das eine Theilchen, von dem Parallelismus abweichend, sich
der Gränze der unwirksamen Stellung nähert.

Fig. 201.



Wenn von zweien Stromelementen *rs* und *uv* Fig. 201, die in der Ebne in Wechselwir-
kung treten, weder das eine noch das andere
auf der sie verbindenden geraden Linie win-
echt steht; so denke man sich *rs* in die Seitenkräfte *st* und *rt*,
er *uv* in die Seitenkräfte *vw* und *uw* zerlegt. Hierdurch ent-
en vier Kräfte, welche je paarweise eine Einwirkung auf ein-
er ausüben können; *ts* und *wv*, da sie parallel laufen, müssen
ı anziehen oder abstossen; zwischen *rt* und *wv*, und ebenso
schen *ts* und *wu*, welche senkrecht auf einander stehen, kann
keine Wirkung statt finden. Aus den vorhergehenden Unter-
hungen geht jedoch nicht bestimmt hervor, in welcher Weise
ınd *uw*, deren Richtungen in dieselbe gerade Linie fallen, sich
en einander äussern. Denkt man sich die Richtungen dieser
fte von der Linie *ru* im geringsten abweichend, so bilden sie
n Winkel und sind folglich wirksam gegen einander; man
ıt aber leicht, dass die Art ihrer Einwirkung nicht geändert
l, ob nun der Scheitelpunct des Winkels rechts oder links von
Linie *ru* liegt. Ihre Wechselwirkung muss demnach bei der in
Figur bezeichneten Stellung Null oder was wahrscheinlicher
von derselben Art seyn, wie wenn ihre Richtungen einen Win-
bildeten. Man hat hieraus weiter gefolgert, dass die
omtheilchen selbst, wenn sie sich in einer geraden
ie gegen einander bewegen oder sich von einander
fernen, sich anziehen; und dass Stromelemente,
in derselben Richtung hinter einander her laufen,
h abstossen. Diese Schlüsse finden eine nähere Bestätigung
em folgenden Versuche.

Ein viereckiges Drahtgewinde *ABCD*, das aus 6—8 W
gen eines Kupferdrahts von 2 Mmtre Dicke verfertigt ist,

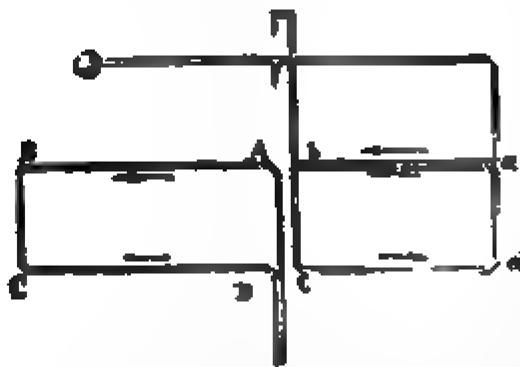


Fig. 202.

neben der Axe *bc* des asta
Vierecks Fig. 202 so aufg
dass die wagerechten Seit
und *ab*, so wie ferner *CD*
in gleiche Höhe zu liegen k
während die Ebnen beider V
einen beliebigen stumpfen
einschliessen. Gibt man n
eindringenden electrischen
die in der Figur durch Pfeil
deutete Richtung, so stellt s
bewegliche Viereck nach einer Reihe von Oscillationen in d
längerte Ebne des feststehenden und kehrt in diese Lage
man es daraus entfernt, immer wieder zurück. Es verläs
dieselbe sogleich und beschreibt einen Bogen von 180°;
die Richtung des Stroms in dem einen Vierecke gewechsel
Nach welcher Seite es sich drehen werde, hängt von zu
Umständen ab, ob es z. B. nach der einen oder andern Seite
überhing.

Um die Wirkung irgend eines Elementes *rs* des einen


Fig. 203.

Fig. 203 auf ein beliebiges
cher Höhe liegendes Elem
des andern bequemer übe
zu können, denke man sic
dieser Stromtheilchen in
Seitenkräfte zerlegt; die ein
der Verbindungslinie *ru*, d
dere winkelrecht auf diese
Es leuchtet dann sogleich ein, dass die parallelen Seitenkr
und *vw* bei zunehmender Grösse des Neigungswinkels
Drähte einen immer kleineren Werth erhalten und endlic
schwinden, während die in die Richtung *ru* fallenden Kräfte
sen bis sie zuletzt die Grösse der Elemente selbst err
Angenommen nun die Ströme gehen nach der in der Figur
deuteten Richtung, so bewegen sich die parallelen Seitenkr
und *vw* in entgegengesetztem Sinne und wirken abstosse
einander. Die Seitenkräfte *rt* und *uw* welche hinter einand
laufen, müssen sich folglich auch abstossen, denn wirkten s
ziehend auf einander, so müsste der Draht *ab* von dem Drah
angezogen werden, so lange der Winkel den sie bilden grös
als ein rechter. Dem widerspricht aber der Versuch. Auf äh
Weise ergibt sich aus dem vorhergehenden Versuche, dass
elemente die beide gegen den Scheitelpunct des Winkels fli

n ihre Richtungen bilden, oder von demselben sich entferne wechselseitige anziehende Kraft ausüben müssen*).

r sind nunmehr im Stande, die Wechselwirkung zweier heilchen r und s bei beliebiger gegenseitiger Stellung been zu können. Bilden wir uns zu dem Ende ein System von chtwinkligen Coordinatenaxen. Als eine derselben, z. B. als r X mag die Verbindungslinie beider Elemente dienen, die , die Axe der Y falle in die durch das eine Stromtheilchen Axe der X bestimmte Ebne, die dritte endlich, die Axe der s auf dieser Ebne senkrecht stehen. Zerlegen wir hierauf aft eines jeden Elementes im Sinne dieser drei Axen in inklig zusammenstossende Seitenkräfte. Das Theilchen r dadurch in die Seitenkräfte x und y, das Theilchen s in die kräfte x', y' und z'. Es ist nun nach dem Vorhergehenden ass x und y gegen z', dessgleichen dass x gegen y' und n x' unwirksam sind, weil je das eine auf dem andern senkteht. Die Wechselwirkung zwischen r und s ist also bekt auf die Einwirkung von x auf x', welche beide in dieselbe allen und von y auf y', die parallel laufen. Die Grösse der men Seitenkräfte bestimmt sich aus der Intensität von r ınd aus den Winkeln, welche ihre Richtungen mit den Cooraxen bilden.

Stärke der Anziehung oder Abstossung steht ausserdem ammengesetzten Verhältnisse der Intensitäten beider Stromte und im umgekehrten des Quadrates ihres Abstandes.

' das Stattfinden der beiden letzten Theile des Gesetzes der elwirkung zweier Stromelemente scheint Ampère mehr der überwiegenden Wahrscheinlichkeit eines derartigen ens im Allgemeinen geschlossen zu haben, als dass er zur derselben unzweifelhafte experimentelle Beweise vor sich

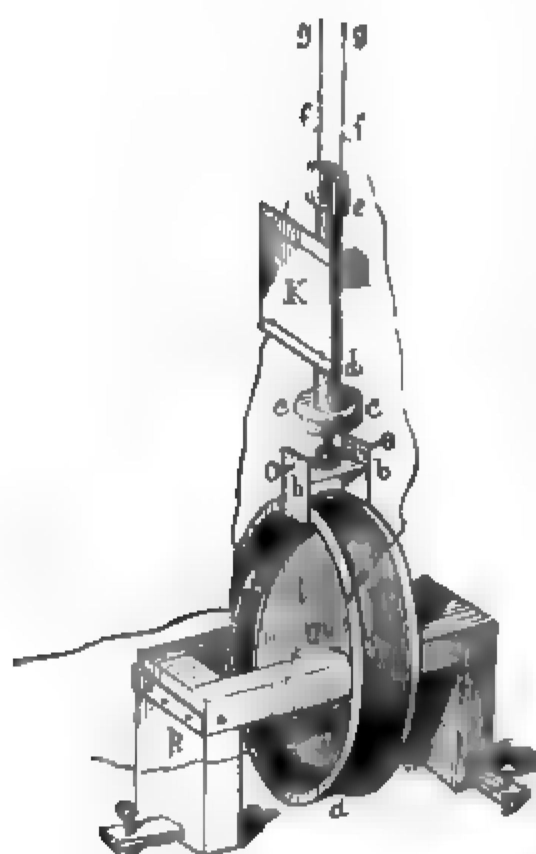
---

s wäre freilich noch der Fall denkbar, dass zwei Stromelemente, die h derselben geraden Linie bewegen, gar nicht auf einander einwirken. Fall ist jedoch höchst unwahrscheinlich, weil ihm die Annahme zu liegt, dass die parallelen Seitenkräfte, ungeachtet sie, wenn die Drähte 'inkel von nahe 180° bilden, einen verschwindend kleinen Werth ergleichwohl noch ausreichend seyen, den nicht ganz unbedeutenden swiderstand in der Axe des astatischen Vierecks zu überwältigen. — le weiter unten erwähnten Versuche W. Weber's ist überdiess jeder in dieser Beziehung gehoben worden.

kann sich die Wechselwirkung zweier Stromelemente je nach ihrer itigen Lage versinnlichen, wenn man jedes derselben einem kleinen n vergleicht, dessen Pole in der durch die Richtung des einen und die Verbindungslinie beider Elemente bestimmten Ebne gelegen sind, und r positive Pol links, der negative rechts von der Richtung der Be-

447. W. Weber hat neuerdings diese Lücke in dem experimentellen Theile der Electrodynamik ausgefüllt, indem er die Richtigkeit des Ampère'schen Gesetzes in seiner ganzen Ausdehnung durch scharfe Messungen nachgewiesen hat. (Electrodynamische Maassbestimmungen von W. Weber, in den Abhandlungen bei Begründung der Kön. Sächs. Ges. d. Wissen. etc. herausg. v. d. Fürstl. Jablonowskischen Gesellschaft.)

Fig. 204.



Weber hat zu diesem Zwecke ein ihm eigenthümliches Messinstrument benutzt, welches er Electro-Dynamometer nennt (Fig. 204). Es besteht im Wesentlichen aus zwei Drahtrollen, welche, wenn ein electrischer Strom dieselben durchdringt, auf einander einwirken. Die eine steht fest, die andere ist beweglich mit bifilarer Aufhängung. Weber hat ihr daher den Namen Bifilarrolle gegeben. Sie ist mit einem kleinen Spiegel verbunden der an ihren Bewegungen Theil nehmen muss. In diesem spiegeln sich die Theilstriche einer in mässiger Entfernung horizontal aufgestellten Scale und werden auf die bei dem Magnetometer beschriebene Weise mit dem Fernrohr abgelesen.

Die Bifilarrolle *aa* (Fig. 204) besteht aus einem dünnen Messingringe von 100 Mmtre Durchmesser und 30 Mmtre Breite, welcher zwei parallele Messingscheiben von 123 Mm äusserem und 100 Mm innerem Durchmesser verbindet und in 30 Mm Abstand von einander hält. Um diesen Messingring ist ein mit Seide übersponnener, $\frac{1}{3}$ Mmtre dicker Kupferdraht ungefähr 3000 mal herumgewunden, so dass er den Zwischenraum zwischen beiden Scheiben ganz ausfüllt. Nach Aufwindung des Drahts wurden die beiden Messingscheiben durch eine feste messingne Klammer *bb* verbunden, welche in ihrer Mitte den Torsionskreis *cc* trägt. Dieser besteht aus zwei horizontalen Scheiben, von denen die untere durch die messingene Klammer mit der Bifilarrolle fest verbunden ist, die obere sich auf der unteren um eine vertikale Axe drehen lässt. Erstere ist mit einer Kreistheilung, letztere mit einem Index versehen. Die letztere hängt an einem hölzernen Zapfen *d*, welcher am oberen Ende die Gabel *ee* einer sehr beweglichen Rolle von 20 Mmtre Durchmesser hält. Unter dieser Rolle ist ein seidener Faden *ff* weggeführt, der zu beiden Seiten der Rolle senkrecht

n geht und einige Mmtre über der Rolle an den beiden Sus-drähten *fg*, *fg* angeknüpft ist. Zu denselben Anknüpfungs-sind die beiden Enden des um die Bifilarrolle gewundenen geleitet, so dass der galvanische Strom durch den einen onsdraht zum einen Ende der Bifilarrolle gelangen und andern Ende durch den zweiten Suspensionsdraht wieder ten kann. Beide Suspensionsdrähte gehen senkrecht auf r Decke, wo sie an zwei von einander isolirten messin-ken befestigt sind. Von dort sind zwei andere Drähte erabgeführt, der eine zu einem Commutator, der andere nischen Säule.

ülfe des Torsionskreises kann man der horizontalen Axe glichen Rolle jede beliebige Lage geben, während die onsdrähte ihre natürliche parallele Lage beibehalten. Der kreis wurde so eingestellt, dass die Axe der Bifilarrolle magnetischen Meridiane zusammenfiel, so dass der Erd-mus den Stand der Rolle, wenn ein Strom durch ihren , nicht ändern konnte. An dem hölzernen Zapfen *d* wurde taler Planspiegel *K* befestigt, auf welchen aus etwa $3^3/_{10}$ tfernung ein Fernrohr mit Fadenkreuz gerichtet wurde, das Bild einer nahe beim Fernrohr aufgestellten horizon-le zu beobachten.

este Rolle *l* (Figur 204) besteht aus zwei dünnen paral-ssingplatten von 88 Mmtre Durchmesser, die von einer re dicken messingenen Axe *m* in 30 Mmtre Abstand von festgehalten werden. Der ganze Raum zwischen den st mit übersponnenem Kupferdraht von $1/_3$ Mmtre Dicke, gefähr 10000 Windungen um die Axe herum geht, aus-as eine Ende des Drahts ist dicht an der Axe *m* durch eine it Elfenbein gefütterte Oeffnung nach Aussen geführt, das st an der Peripherie der Rolle bei *m'* mit Seidenfaden fest-n. Das eine Drahtende geht zum Commutator, das andere tiplicatordrahte eines Magnetometers und von diesem dann zum Commutator. Die Axe *m* ragt auf beiden Seiten der vor und ruht in entsprechenden Vertiefungen eines kleinen n Gestelles *pp*, das auf drei Füssen steht, die mit Schrau-en zum Nivelliren versehen sind. Der eine Fuss hat ein nd kann so zurückgeschlagen werden, dass er sich nem Theile des Gestelles und der festen Rolle durch die he Rolle hindurchführen lässt. Auf diese Weise wird es den Mittelpunct der festen Rolle nach Erforderniss in die beweglichen zu rücken oder auch in beliebigen Abstand n bringen.

Schutz gegen den Einfluss der Luft ist die Bifilarrolle mit ilsernen Gehäuse umgeben, in welches eine Glasscheibe

eingesetzt ist, damit das Licht von der Scale in den Spiegel und von da zurück ins Fernrohr fallen kann.

Angenommen man lasse electrische Ströme von verschiedener Stärke nach einander in die Drähte des beschriebenen Apparats eindringen und beobachte gleichzeitig die dadurch bewirkten Ablenkungen der Nadel des Magnetometers und der Bifilarrolle des Dynamometers. Aus den ersteren ergibt sich die jedesmalige magnetische Kraft des Stroms und folglich die Stromstärke; aus den letzteren die zugehörige electro-dynamische Kraft. Wenn nun die Intensitäten der nach einander durchgehenden Ströme sich verhalten wie 1:2:3 u. s. w., so sollen nach dem Ampère'schen Gesetze die electrodynamischen Wechselwirkungen der festen und beweglichen Rolle der Reihe nach sich wie 1:4:9 u. s. w., d. h. wie die Quadrate der Intensitäten verhalten, und so hat es Weber in der That gefunden.

Wurde die feste Rolle aus ihrer Stellung im Innern der Bifilarrolle entfernt und ihr Mittelpunct nach und nach in verschiedene Abstände vom Mittelpuncte der Bifilarrolle gebracht, östlich oder westlich, nördlich oder südlich (d. h. längs dem magnetischen Meridian), während der durchgehende Strom immer gleiche Stärke behielt, so verminderte sich die wechselseitige Einwirkung beider Rollen. Wenn nun diese Abnahme von demselben Gesetze abhängig war, welchem die Grösse der Wechselwirkung zweier Magnete oder eines Magnets und eines geschlossenen electrischen Stroms unterworfen ist; so war es gestattet, die Abnahme der electrodynamischen Kraft bei zunehmender Entfernung mit Hülfe der Gauss'schen Formel (379) zu berechnen. Wirklich stimmten die beobachteten Ablenkungen der Bifilarrolle mit den auf dem angedeuteten Wege durch Rechnung gefundenen Ablenkungen so genau überein, als nur irgend erwartet werden durfte.

Weber hat übrigens die Richtigkeit der von Ampère gegebnen electrodynamischen Fundamentalgesetze noch einer anderen, direkteren und umfassenderen Prüfung unterworfen, indem er ausgehend von der Grundlage derselben, nämlich von dem, von Ampère selbst, für die Grösse der Wechselwirkung zweier Stromelemente im Raume, bestimmten Werthe, die Einwirkung der festen auf die bewegliche Rolle, bei den verschiedenen gegenseitigen Lagen und Abständen ihrer Mittelpuncte im Voraus berechnete und mit den beobachteten Resultaten verglich. Es zeigte sich eine fast vollkommne Uebereinstimmung der aus den Beobachtungen abgeleiteten ablenkenden Kräfte mit den durch die Rechnung bestimmten.

418. Das Dynamometer besitzt, wie vorher gezeigt wurde, die bemerkenswerthe Eigenschaft, dass wenn ein electrischer Strom durch beide Rollen geht, die hieraus entspringende ablenkende Kraft dem Quadrate der Stromintensität proportional ist, während bei andern Galvanometern die ablenkende Kraft nur im einfachen

:hältnisse der Stromstärke steht. W. Weber hat von dieser Ver-
iiedenheit beider Werkzeuge eine sinnreiche Anwendung ge-
cht, um Stärke und Bewegungszeit solcher electrischer Ströme,
lche wie der Entladungsschlag einer Leydner Batterie nur kurze
it anhalten, zu messen.

Lässt man einen Strom von sehr kurzer Dauer um eine Mag-
lnadel gehen, so verhält sich die Einwirkung wie die Gesammt-
nge der in Bewegung gesetzten Electricität, oder auch wie das
oduct der Stromstärke in das Zeitelement. Denn die Geschwin-
;keit, welche die Nadel gewinnt, ist zugleich von der beschleu-
;enden Kraft und von der Wirkungszeit abhängig. Erstere aber
rhält sich wie die Stromstärke, d. h. wie die Electricitätsmenge
lche gleichzeitig durch jeden Querschnitt fliesst. Wächst also
Stromstärke und vermindert sich verhältnissmässig die Zeit,
h. bleibt die Electricitätsmenge ungeändert, so muss auch stets
iche Ablenkung erhalten werden. Aus der beobachteten Ablen-
ıg lässt sich daher in diesem Falle unmittelbar nur die Menge
Electricität ableiten. Um auch ihre Intensität bestimmen zu
ınen, ist es nöthig die Stromdauer zu kennen.

Geht derselbe Strom durch beide Rollen des Dynamometers, so
ht die entsprechende ablenkende Kraft im zusammengesetzten
rhältnisse der Dauer und des Quadrates der Intensität; sie wird
glich, immer gleiche Electricitätsmengen vorausgesetzt, um so
isser, je kürzer die Stromdauer. Die gleichzeitige Beobachtung
r in beiden Instrumenten bewirkten Ablenkungen führt daher zu
rei von einander unabhängigen Gleichungen, von welchen die
e das Product der Dauer in die Intensität, die andere aber das
duct der Dauer in das Quadrat der Intensität enthält, und aus
ıen somit beide Werthe abgeleitet werden können.

Weber hat versucht auf diesem Wege die Entladungszeit einer
ctrischen Batterie zu messen, wenn die Entladung durch eine
ise Hanfschnur von 7 Millimetre Dicke stattfand. Seine Ver-
he, die er indessen nur als vorläufige betrachtet, führten zu dem
ultate, dass die Entladungszeit der Länge der nassen Schnur
t proportional war und für die Länge von 2 Metre 0,0816 Se-
iden betrug. (A. a. O. S. 295.) Dieses Resultat widerspricht
igens keineswegs der von Wheatstone gefundenen Ge-
windigkeit der Electricität (siehe S. 284) bei der Entladung
ch Kupferdraht, wenn man bedenkt, dass das Kupfer viele
lionen mal besser leitet als das Wasser.

Electrodynamische Vertheilung (Induction).

449. Volta-Induction. Jeder electrische Strom der an einem
chlossenen Leiter der Electricität vorübergeht, bewirkt in dem-
ben im Augenblicke seines Entstehens und eben so im Augen-

blicke seines Verschwindens, eine Störung des electrischen G
gewichts und das Auftreten eines Stroms von sehr kurzer
Dieselbe Erscheinung beobachtet man, so oft die Stärke des
vorhandnen, aus der Electricitätsquelle (z. B. einer Volta
Säule) unmittelbar abstammenden Stroms zunimmt oder ab
oder während der geschlossene Leiter dem unmittelbaren
genähert oder davon entfernt wird.

Diese eigenthümliche Wirkung electrischer Ströme in di
ist im Jahre 1831 von Faraday entdeckt, und mit dem W
duction oder Volta-Induction bezeichnet worden. D
Physiker haben dafür den Ausdruck: Electro-dynamisch
theilung gewählt. Den aus dem Electromotor unmittelb
ergiessenden Strom nennt man den vertheilenden oder
cirenden Strom; den durch die Atmosphärenwirkung des
ren erst geweckten, mittelbaren oder sekundären Strom, ne
den inducirten oder Vertheilungs-Strom.

450. *α*) Man wickle zwei mit Seide übersponnene Dräh
b neben einander, in möglichst vielen Windungen um ein
und verbinde *b* mit einem Galvanometer, *a* mit einer galva
Kette. In dem Augenblicke, da die letztere geschlossen w
hält die Galvanometernadel einen Stoss, und zwar im Sinn
Stroms, der den Draht *b* in einer, der des vertheilenden
entgegengesetzten Richtung durchdringt. Das Gleichgewic
sich aber alsbald wieder her und die Nadel kehrt zu ihrer f
Stellung zurück, aus der sie, so lange der ursprünglich
mit unveränderter Stärke fortdauert, nicht wieder abweich

Im Augenblicke da man die Verbindung des Drahtes a
Electromotor unterbricht und dadurch den vertheilenden
verschwinden lässt, erhält die Nadel einen zweiten Sto
jetzt im entgegengesetzten Sinne, also im Sinne eines
der den Draht *b* in einer, mit der des inducirenden Sroms g
Richtung durcheilt.

β) Wenn in der geschlossenen galvanischen Kette ne
Drahte *a* noch ein anderer, dünnerer oder sehr langer Dr
geschaltet war, durch dessen plötzliche Absonderung aus d
doch ohne sie zu öffnen, die Stromstärke vermehrt wird,
die augenblicklich eintretende aber nur sehr kurze Zeit an
Einwirkung auf die Nadel, dass der Draht *b* von einem St
entgegengesetztem Sinne des ursprünglichen durchlaufen
war. Durch das umgekehrte Verfahren, nämlich durch Schw
der Stromstärke wird ein Vertheilungsstrom von gleicher R
wie der vertheilende erhalten.

γ) Man nehme jetzt zwei getrennte Drahtrollen, am be
dass die eine sich über die andere schieben lässt, und v
wieder wie vorher den einen Draht mit der Säule, den an
dem Galvanometer. Man stelle beide Rollen einander so

lass ihre Axen zusammenfallen, und nähere die eine der ander entferne sie. In beiden Fällen wird ein Strom inducirt; 'elchen der erste (der durch Annäherung erzeugte) die entgesetzte, der zweite aber dieselbe Richtung hat wie der innde.

l. Die beschriebenen Versuche führen zu der Regel: dass ›ctrischer Strom in einem parallel liegenden Leitungsdrahte, genblick seines Entstehens oder Anwachsens, oder auch nd er demselben genähert wird, einen ihm entgegengesetz›rvorruft, im Augenblicke des theilweisen oder gänzlichen ıwindens dagegen, oder während er entfernt wird, einen in ər Richtung laufenden. Diese Regel verliert jedoch ihre Gelowie die Drähte nicht mehr parallel laufen. Man kann sich ıach der folgenden, von **Lenz** aufgestellten, ganz allgemein len Regel leicht zurecht finden:

›nn in der Nähe eines metallischen Leiters ein 'ischer Strom entsteht, oder seinen Zustand ändert stärker oder schwächer wird oder eine andere Lage erhält), auch wenn in der Nähe eines Stroms von unverlicher Beschaffenheit sich ein Leiter bewegt, so in dem letzteren ein Strom erzeugt, welcher eine ›inigen gerade entgegengesetzte Richtung haben ;e, um vermöge seiner Wechselwirkung auf den irenden Strom die Art Bewegung hervorbringen nnen, welche wirklich stattgefunden hat.

plel: Zwei Drahtringe *a* und *b* von denen der erstere den Schliesgen einer electrischen Kette bildet, stehen einander parallel gegenowie der Strom in die Windungen von *a* eintritt und dadurch sich dem nähert, entbindet sich aus diesem ein entgegengesetzt gerichteter Verstrom, der also von dem vertheilenden Strom abgestossen wird. Ein ;erichteter Vertheilungsstrom entsteht, sowie der vertheilende Strom 'indet, d. h. sich wieder aus dem Ringe *a* entfernt.

:nn die Ebnen beider Ringe sich rechtwinklig durchkreuzen, Weise, dass die Durchschnittslinie den Kreisstrom halbirt, ıteht kein Vertheilungsstrom, weil die vertheilenden Kräfte Hälften des Kreisstroms auf einen beliebigen Punct des 'eien Ringes gleich gross und entgegengesetzt sind, daher echselseitig aufheben müssen. Ein solches Gleichgewicht ıicht statt, wenn die Ringebnen einen spitzen Winkel bil› wird folglich im Augenblicke der Schliessung der galvaı Kette ein Strom inducirt, der sich gegen die Durchschnitts›ider Ringe bewegt, wenn der ursprüngliche Strom sich von Linie entfernt und umgekehrt. Ein zweiter Inductionsstrom 'egengesetzter Richtung entsteht, sobald die Kette geöffnet — Wenn von beiden Ringen, deren Ebnen sich rechtwinklig reuzen, der eine an der Ebne des andern vorübergeht, so ıich in dem anfangs stromfreien Drahte ein Strom in solcher

meinschaftlichen Durchmesser als Axe drehbar; man st
erst in die Ebne des andern Ringes, schliesse die Kette
ihn dann aus der parallelen in die senkrechte Lage übe
ein Strom erzeugt, der gegen die Drehaxe läuft oder sic
selben entfernt, je nachdem der inducirende Strom sich
gegen dieselbe bewegt oder von derselben entfernt.
fort den Ring, immer in demselben Sinne wie vorher,
bis er wieder eine parallele Lage angenommen hat, s
ein neuer Inductionsstrom und zwar in gleichem Sinn
vorhergehende.

Wird dagegen der drehbare Ring in die anfängliche
rückgedreht, sey es durch eine rückgehende Bewegung
fortgesetzte Drehung in dem vorhergehenden Sinne;
Fällen entwickeln sich Ströme, welche die Galvano
nach der andern Seite treiben. Man sieht hieraus, dass
drehbare Ring eine oscillirende Bewegung durch die
Kreisstroms bewerkstelligt, es für die Richtung der hie
stehenden Inductionsströme ganz gleichgültig ist, ob e
der einen oder andern Seite der Ebne bewegt. Die unm
einander folgenden Ströme sind aber stets einander
gesetzt, je nachdem derselbe Arm des beweglichen
von der Ebne des Kreisstroms entfernt oder derselben

Alle diese Verhältnisse lassen sich übrigens als ein
gen der oben angegebnen Regel betrachten. Um das Ge
betreffenden Versuche zu sichern, ist es gut zu jedem
nigstens 20—25 Windungen eines 2 Millimetre dicke
drahtes zu nehmen, und als Messwerkzeug ein zu the
schen Versuchen geeignetes Galvanometer auszuwähle

452. Magneto-Induction. Vertheilungsströme vo

Nach der folgenden von Lenz aufgestellten Regel lassen sich ie Richtungen der durch Magneto-Induction erregten Ströme mit leicher Sicherheit im Voraus bestimmen: Wird ein Leiter in er Nähe eines Magnets oder umgekehrt ein Magnet in er Nähe eines Leiters in Bewegung gesetzt, so erhält ler in dem letzteren hervorgerufene Vertheilungsstrom ine Richtung, welche derjenigen entgegengesetzt ist, die ein durch denselben Leiter gehender Strom haben üsste, um in Folge seiner Wechselwirkung auf den agneten eben die Bewegung hervorbringen zu könen, welche unter dem Einflusse äusserer mechanischer Kräfte wirklich stattgefunden hat.

453. Eine hohle Drahtrolle deren Enden mit dem Multiplicatorrahte eines Galvanometers verbunden sind, werde rasch über den hen Pol eines Magnetstabs bis zur Mitte desselben geschoben. gleich bemerkt man eine starke Ablenkung der Nadel. Sie entpricht einem durch die Windungen der Drahtrolle laufenden trome, dessen Richtung den hypothetischen Strömen im Magnete tgegengesetzt ist. Dieser Versuch ist also, wenn man von der mpère'schen Theorie ausgeht, nur eine veränderte Form des N. 450. γ. beschriebenen. — Wird die Rolle wieder zurückezogen oder auch in gleichem Sinne wie vorher weiter und über m andern Pol des Magnets hinausgeschoben, so entsteht ein weiter Vertheilungsstrom in entgegengesetzter Richtung.

Betrachten wir jetzt nur einen einzigen durch den Galvanoeterdraht geschlossenen Ring. Seine Stellung sey vor dem einen l eines Magnetstabs so gewählt, dass seine Axe in die Verlänrung der Magnetaxe fällt. Wird dieser Ring um einen seiner rchmesser als Drehaxe, um 180° gedreht, so entsteht ein Vereilungsstrom, dessen Richtung, bezogen auf die anfängliche Lage s Ringes, mit derjenigen der hypothetischen Ströme des Magnetabs gleichlaufend ist. Bringt man den Ring in die frühere Stelng zurück, so geht ein neuer Strom durch die Drähte, dessen ichtung nunmehr derjenigen der hypothetischen Ströme des Magts entgegengesetzt ist. — Wollte man eine oder die andere ieser Bewegungen, z. B. die erste durch die Wechselwirkung des agnetstabs auf einen den Ring durchdringenden Strom hervorngen, so würde die Richtung des letzteren derjenigen der hythetischen Ströme des Magnets entgegengesetzt seyn müssen. er Vertheilungsstrom muss also nach obiger Regel dieselbe Richng nehmen wie die Ströme des Magnets, und so hatte man wirkh gefunden.

Es ist einleuchtend, dass eine Anzahl paralleler Windungen s Leitungsdrahtes, die man vor dem Magnete um ihren geeinschaftlichen Mittelpunct dreht, sich ähnlich verhalten müssen ein einzelner Ring. Man erhält aber dadurch eine weit grös-

sere Menge vertheilter Electricität, und folglich mehr Siche eine deutliche Einwirkung auf die Nadel selbst eines wenige pfindlichen Galvanometers hervorzubringen.

Wenn man dem Drahtgewinde eine solche Lage gibt, seine Ebne die Richtung der Inclinationsnadel beiläufig rechtw lig durchschneidet, so erhält man durch Umdrehung des Gewi um einen seiner Durchmesser einen Strom von derselben Rich wie unter der Einwirkung des negativen Pols eines Magnets An die Stelle eines Pols der letzteren Art ist nämlich in di Falle die nördliche magnetische Kraft der Erde getreten. — Gelingen dieses Versuchs erfordert neben einem empfindli Galvanometer eine Inductionsrolle von wenigstens 2 bis 300 w Windungen eines 1—2 Millimetre dicken Kupferdrahts.

Gibt man dem Ringe oder dem ringartigen Drahtgewinde solche Lage, dass die verlängerte Axe eines Magnetstabs e Durchmesser desselben bildet, und dreht man den Ring um di Durchmesser, so wird, vorausgesetzt dass keine andern Einfl als die des Magnets in Wirksamkeit treten, kein Vertheilungsst erregt. Es geschieht diess eben so wenig, wenn der Ring in bezeichneten Lage längs der Magnetaxe vorwärts oder rückw bewegt wird. — Hätte man durch den Draht einen andauern electrischen Strom gehen lassen, so würde, wie bekannt, die wirkung des Magnets auf denselben rechtwinklig gegen die R ebne gerichtet seyn; eine rotirende Bewegung des Ringes die verlängerte Magnetaxe oder eine geradlinigte Beweg längs dieser Axe hätte also dadurch nicht hervorgebracht wer können.

Wird aber das Drahtgewinde unter oder über der Magnet in Bewegung gesetzt, oder wird ein Magnetpol an den Windung vorübergeführt, so entsteht ein Strom, welcher bei selbstständi Einwirkung auf den Magneten eine Bewegung hervorbrin müsste, die der wirklich stattgehabten gerade entgegenge sein würde.

454. Ein geschlossenes Drahtgewinde werde der Ebne magnetischen Meridians gleichlaufend gestellt und im Innern selben ein Magnetstab aufgehängt. Man drehe den letzteren p lich um seinen Mittelpunct, den Nordpol nach West, so geht Strom durch die Windungen der den Nordpol der Nadel nach zu bewegen strebt. Geschieht die Drehung des Magnets nach so wird ein Vertheilungsstrom von entgegengesetzter Richt erregt. Aus diesen Versuchen geht hervor, dass eine zwis geschlossenen Multiplicatorwindungen schwingende Magnetn bei jeder Hin- und Herbewegung Ströme inducirt, welche ih der ihrigen entgegengesetzte Bewegung einzuprägen und d nach ihre Schwingungsweiten zu vermindern suchen. Wenn Enden der Drähte in keiner leitenden Verbindung stehen, so l

e Inductionsströme nicht in Bewegung kommen; die
ende Nadel kommt daher zwischen geschlossenen Win-
schneller zu Ruhe als zwischen offenen.

iesem Erfahrungssatze beruht der Dämpfer, eine Vor-
die man bei Galvanometern häufig anbringt, um die Be-
n der Magnetnadel zu mässigen (zu dämpfen). Sie be-
dem Magnetometer aus einem starken Kupferringe, der
in der Ebne ihres Meridians umgibt (371). Es ist ein-
l, dass alle Metallmassen in der Nachbarschaft eines Gal-
ers mehr oder weniger einen ähnlichen Einfluss ausüben

Man denke sich einen kräftigen Hufeisenmagnet so auf
sche liegend, dass seine Pole über dem Rande desselben
gen. Der positive Pol sey nach Süden, der negative nach
gerichtet. Ein Stück dicken Kupferdrahts, dessen Enden
Multiplicatordrahte eines in hinlänglicher Entfernung auf-
n Galvanometers verbunden sind, werde in senkrechter
zwischen beiden Polen durch gegen die Biegung des
s geführt. Man wird alsbald eine Abweichung der Nadel
Ruhelage wahrnehmen, einen Strom anzeigend, der von
h Unten durch das Drahtstück gegangen ist. Ein Strom in
gesetzter Richtung entsteht, sobald das Drahtstück wieder
zogen wird.

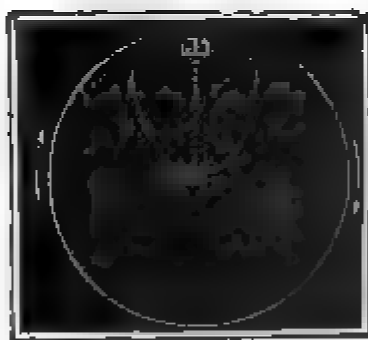
zt über den Polen des Hufeisenmagnets werde eine dreh-
allische Axe in wagerechter Stellung so angebracht, dass
ahl radial auslaufender Speichen oder Zinken von Metall
der Umdrehung bis zu einer Quecksilberrinne hinab-
die sich zwischen beiden Polen und unmittelbar unter
n befindet. Diese Rinne stehe mit dem einen Ende des
tordrahts, die metallische Axe mit dem andern Ende in
ng. So oft nun während der Umdrehung dieser dem Bar-
en Rädchen (Fig. 194. S. 402) ähnlichen Vorrichtung
iche das Quecksilber berührt, entsteht ein electrischer
er, wie aus dem vorhergehenden Versuche ersichtlich ist,
Axe gegen die Quecksilberrinne läuft, wenn die betreffende
sich durch das Quecksilber gegen die Biegung des Huf-
ewegt. Die Richtung der bei fortgesetzter Drehung auf
folgenden Ströme muss sich demnach gleich bleiben, so
n das Rädchen immer in demselben Sinne umdreht.

vertausche das Speichenrädchen mit einer kreisförmigen
von Kupfer und drehe die letztere in ähnlicher Weise wie
as erstere um die wagerecht liegende Axe, so dass wäh-
r Umdrehung alle Puncte des Randes der Scheibe in das
er der Rinne eintauchen müssen. Es ist einleuchtend,
dieser Anordnung die nach einander mit der metallischen
it in Berührung tretenden Radien oder eigentlich kleinen

Ausschnitte der Scheibe dieselbe Rolle spielen werden, wie die Speichen des Rädchens. Es entsteht daher ein anh electrischer Strom, in der Richtung von der Axe zum Ra Scheibe, wenn die Lage des Hufeisens und die Richtung wegung dieselben bleiben wie in den vorhergehenden Ver Bei umgekehrter Richtung der rotirenden Bewegung, ode der Magnet die umgekehrte Lage erhält, wird auch die R der Ströme umgekehrt.

Der bei diesem Versuche durch den Multiplicatordral gende Strom ist übrigens nur ein Theil der Electricität, durch den Hufeisenmagnet in der rotirenden Kupferscheib cirt wird, denn das gestörte electrische Gleichgewicht find in der zusammenhängenden Metallmasse der Scheibe die n Mittel zur Ausgleichung. Es lässt sich aus diesem Grunde sehen, dass während der Umdrehung der Scheibe electrische selbst dann hervorgerufen werden müssen, wenn eine Al derselben von der Axe und dem Rande aus nicht stattfinde

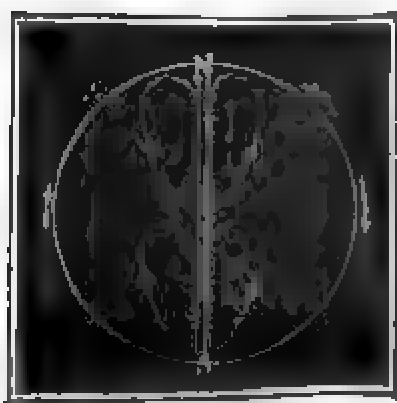
Fig. 205.



Es bezeichne z. B. *N* (Fig. 205) de pol eines Magnetstabs, nahe über den einer rotirenden Kupferscheibe, deren gungsrichtung durch die neben der Pe angebrachten Pfeile angedeutet ist. D cirten Ströme werden dann ungefähr di Pfeile im Innern des Kreises bez Richtung nehmen. Eine Theilung de Rande nach der Axe zurückkehrenden in der angedeuteten Weise ist in der Natur der leitenden begründet und entspricht auch der Erfahrung, dass ein T Stroms mit gleicher Leichtigkeit rechts oder links von de netpole abgeleitet werden kann. Es ist nun einleuchtend, inducirten Ströme bei dieser Richtung dahin trachten müs Scheibe eine Bewegung in entgegengesetztem Sinne einzu

Wenn über der Mitte der Scheibe eine Magnetnadel s so äussern ihre beiden Pole einen dem so eben betrachtete ähnlichen Einfluss; d. h. sowie die Scheibe in die drehe wegung versetzt wird, entbinden sich in dem Sinne wie es in Fig. 206 ang ist. Man sieht leicht, dass die gemein liche Wirkung dieser Ströme der eines einzigen Stroms entspricht, in der Richtung vom Südpol zum unter der Nadel hergeht, und wodu letztere im Sinne der Umdrehung der aus ihrer Ruhelage abgelenkt wird. diese Einwirkung unausgesetzt fort so lange die Scheibe um ihre Axe

Fig. 206.



'ird, so kommt es dass die Nadel bald ebenfalls eine rotirende ewegung, in gleichem Sinne wie die Scheibe annehmen muss.

Dreht man die Magnetnadel über einer festliegenden Scheibe, o ist diess genau so als ob die letztere im entgegengesetzten Sinne ewegt würde. Die hierdurch erregten Vertheilungsströme streben olglich die Bewegung der Nadel aufzuhalten. Es leuchtet hieraus in, dass Metallplatten, die man möglichst nahe unter einer Magnetadel anbringt, die Eigenschaft besitzen ihre Schwingungsweiten u dämpfen. Diese eigenthümliche Einwirkung rotirender Metallplatten auf die Magnetnadel ist zuerst von Arago, im Jahre 1824 beobachtet worden, und zwar im Verfolge der von ihm gemachten Bemerkung, dass die Schwingungen einer Magnetnadel über Metallen und anderen Stoffen beträchtlich in ihren Weiten verringert 'urden, ohne merklich an Dauer zu verlieren, so dass bei rascher bnahme der Schwingungsweiten die Gleichzeitigkeit blieb.

Alle hiermit zusammenhängenden Erscheinungen wurden mit em Namen Rotationsmagnetismus bezeichnet, bis es Faaday gelang, dieselben aus der Gegenwart oder aus dem Aufeten magnet-electrischer Ströme zu erklären.

456. Ein sehr wirksames Hülfsmittel zur Erzeugung magnetectrischer Ströme gewährt der entstehende oder verschwindende agnetismus des weichen Eisens. Man schiebe in die Höhlung ner Drahtrolle einen cylindrischen Eisenkern und nähere dann em einen oder andern Ende desselben einen Magnetpol, oder esser beiden Enden gleichzeitig die ungleichartigen Pole eines ufeisenmagnets. Es wird ein Vertheilungsstrom erregt, von gleiher Richtung, jedoch weit grösserer Intensität, als der ohne Mitirkung des Eisenkerns, bei gleicher Annäherung des Magnets ervorgerufene. Ein entgegengesetzt gerichteter Strom von gleier Stärke entsteht bei der Entfernung des Magnets. Diese Wirng des Eisenkerns ist ganz von derselben Beschaffenheit, als in die Höhlung des Drahtgewindes von der einen Seite ein ordpol, von der andern ein Südpol, die in der Mitte sich zu einem agneten vereinigen, hineingesteckt würden. Beide müssen in m Gewinde gleichgerichtete Ströme hervorbringen, weil sie entgengesetzte Richtung der Bewegung haben. Beim Abziehen vert sich die Richtung der hypothetischen Ströme im weichen isen, nach Maassgabe als der vertheilende Magnet sich entfernt, d es ist daher eben so als ob die beiden ungleichartigen Pole ch entgegengesetzter Richtung aus der Drahtrolle herausgezon würden.

Wenn der umwickelte Anker (der Inductor) eine feste Stellung nd der Hufeisenmagnet vor demselben um eine zwischen Polen liegende und seinen beiden Schenkeln gleichlaufende gedreht werden kann, so wird durch fortgesetzte Umdrehung Folge von Strömen oder richtiger von Stromwellen erzeugt.

So oft beide Magnetpole gleichzeitig vor dem Anker vorübergehen, erhält dieser ein Maximum der Polarität. Die Stromstärke ist aber dann Null. Während der Drehung bis 90° (d. h. bis die Linie, welche die Pole verbindet, die Stellung des Ankers winkelrecht durchkreuzt) verliert der Anker den ihm zuvor ertheilten Magnetismus, gewinnt dagegen bei fortgesetzter Drehung bis 180° den entgegengesetzten. Durch beide Veränderungen wird aber ein Strom von gleicher Richtung inducirt, und zwar mit anfangs steigender, dann wieder fallender Intensität, in der Weise, dass das Maximum der Stromstärke allemal dann eintritt, wenn die magnetische Polarität des Ankers Null geworden ist. Bei der folgenden halben Umdrehung wiederholen sich alle Verhältnisse wie vorher, nur hat die gebildete Stromwelle die entgegengesetzte Richtung der früheren. Positive und negative Ströme folgen also auf einander, von einer halben Umdrehung zur andern. Doch kann bei grosser Rotationsgeschwindigkeit, wegen der zur Umkehrung der Polarität des Ankers erforderlichen Zeit, um etwas die Lage der Null- und Maximumspuncte verschoben werden. Die Wirkungen zweier auf einander folgender Stromwellen auf die Magnetnadel sind gleich an Grösse, da sie aber in der Richtung entgegengesetzt sind, so heben sie sich wechselseitig auf. So kommt es, dass bei rascher Umdrehung des Hufeisenmagnets um seine Axe und richtiger Einstellung der Multiplicatorsnadel, die in der Drahtrolle inducirten Ströme wohl ein Erzittern aber keine bestimmte Ablenkung derselben bewirken können *).

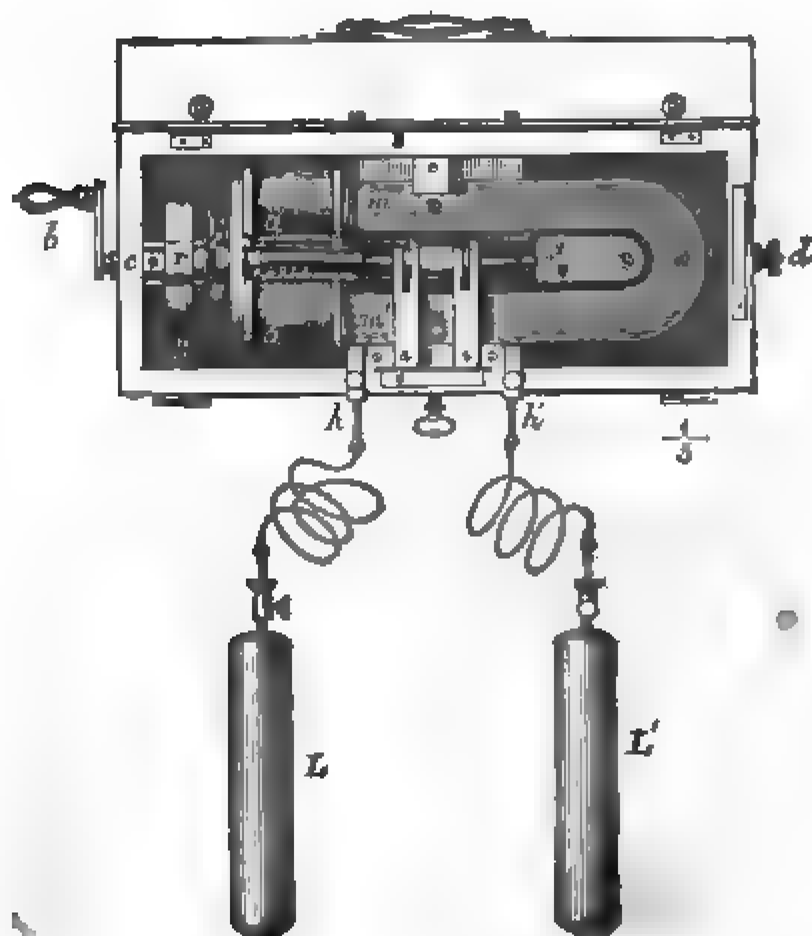
Die verschiedenen galvanometrischen Werkzeuge mit Magnetnadeln sind also unbrauchbar, um die absolute Stärke einer Folge derartiger Ströme oder Stromwellen zu messen. Das electrische Dynamometer zeigt in dieser Beziehung eine sehr bemerkenswerthe Verschiedenheit. Geht ein electrischer Strom zugleich durch die feste und durch die bewegliche Rolle, so findet eine Umkehrung der Richtung desselben gleichzeitig in beiden Rollen statt. Die Ablenkungen der Bifilarrolle sind folglich ganz unabhängig von der Richtung der durchlaufenden Ströme. Man sieht hieraus, dass die Kraft der auf einander folgenden Wellen eines Inductionsstroms mittelst des Dynamometers eben so sicher gemessen werden kann, als ob dieser Strom eine gewisse Richtung der Bewegung unverändert beibehielte.

Auf diese Weise ist es W. Weber gelungen, Inductionsströme wahrzunehmen, welche in einer Drahtrolle durch die vibrirende Bewegung einer zum Tönen angeschlagenen magnetisirten Stahlstange hervorgebracht wurden. (A. a. O. S. 297.)

*) Wenn vor Anstellung des Versuchs die Drahtwindungen der Axe der Nadel nicht genau parallel standen, so erfolgt gleichwohl eine starke Ablenkung bis zu 90°, und zwar immer nach der Seite, nach welcher gleich anfangs die Abweichung stattfand. (Pogg. Ann. 45. 353.)

Geräthschaften, wie die vorher erwähnte, welche dienen agnet-electrische Ströme in unausgesetzter Folge zu ge- indem ein Hufeisenmagnet vor einem Inductor oder um- der letztere vor den Polen des ersteren in rotirende g gesetzt wird, nennt man magnet-electrische Ma- . Sie werden je nach den Zwecken ihres Gebrauchs in altigen Grössenverhältnissen ausgeführt. Der wesent- il der inneren Einrichtung wird sich aus der folgenden ung einer kleineren von Stöhrer in Leipzig*) haupt- zu medicinischem Gebrauche bestimmten Maschine er- a' ist der Inductor in Hufeisenform; er ist vor den Polen s Hufeisenmagnets um die wagerechte Axe $c c$ beweg- hierzu erforderliche Triebwerk besteht aus der Kurbel b

Fig. 207.



Rollen R und r, von welchen die erstere auf der Kurbel- kleine Rolle r aber auf der Inductor-Axe $c c$ sitzt. Beide nd von Holz, am Rande mit Leder umspannt und wider gepresst. Die hierdurch entstehende Reibung genügt um nde Bewegung von der grossen auf die kleine Rolle zu n. Der Magnet besteht aus 5 Lamellen, jede von 5 Mmtre sind zusammengeschraubt, an der Vorderseite eben ab-

*) Ann. B. 61. S. 417. Ueber ältere Anordnungen von Pixii, Saxton, vergleiche man: Pogg. Ann. B. 27. 390 u. 398. B. 39. 401.

geschliffen und können mittelst der Schraube *d* der Vorder
Inductors genähert oder davon entfernt werden. Auf der

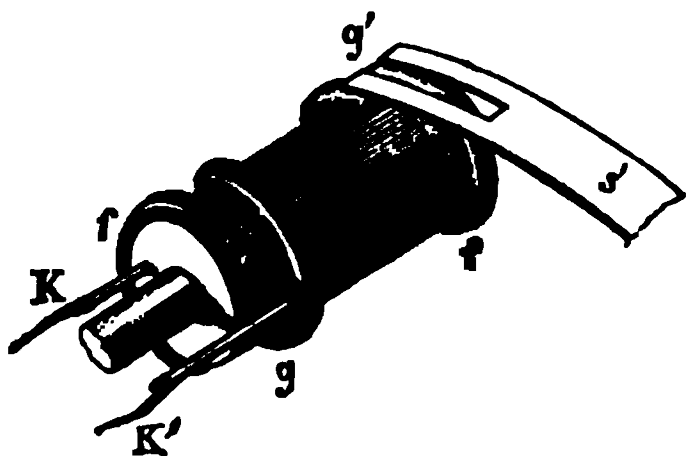


Fig. 208.

Welle *cc* sitzt ein hohler
cylinder *e*, der in Fig. 208
serem Maassstabe zu se
kann mittelst der Schraub
der Stellung auf der Welle
werden. Den mittleren Th
Cylinders umgibt ein zwe
singrohr *gg'*, welches von
steren durch Holz und S
aufs sorgfältigste isolirt i
von beiden Abtheilungen d
Cylinders trägt zwei stählerne Halbringe, welche so
sind, dass *f* und *f'*, die auf der einen Abtheilung aufgelö
ferner *g* und *g'*, die auf dem andern sitzen, sich je zu ei
ständigen Ringe ergänzen. Die von den Inductionsrollen
auslaufenden Drähte sind an Stiften *K* und *K'* befestigt,
das eine Drahtende mit dem äusseren, das andere mit den
Cylinder in leitende Verbindung gesetzt wird. Mittelst d
den Stahlstreifen *s* und *s'*, welche an dem Gestelle ang
sind und während der Umdrehung der Axe über die l
schleifen, kann dann die entwickelte Electricität weiter fo
werden. Die Streifen *s* und *s'* sind, wie man bemerkt, ga
ausgeschnitten und so über den Halbringen angebracht,
einer halben Umdrehung zur andern, abwechselnd der
und innere Cylinder mit jeder Gabel in Berührung komm
In demselben Augenblick z. B., da der Halbring *g'* den S
verlässt, wird der Halbring *g* (der gleichwie *g'* auf dem
Cylinder sitzt) von dem Streifen *s* ergriffen. Bei dieser A
und eine richtige Stellung der Halbringe gegen die In
rollen vorausgesetzt, wird es möglich, die auf einander f
entgegengesetzten Vertheilungsströme zu einem einzige
artigen und also auch durch seine Einwirkung auf die
meternadel messbaren Strome zu vereinigen.

Dieser ganze Apparat befindet sich in einem verschli
Kästchen von Holz von weniger als 1 Fuss Länge und ei
daher vorzugsweise zum Transporte.

458. Wenn der Inductor einer magnet-electrischen l
welche ähnlich der vorhergehenden mit einem Commuta
mit einer Vorrichtung versehen ist, den auf einander f
positiven und negativen Strömen einerlei Richtung zu
len, mit möglichst gleichförmiger Geschwindigkeit ged
der gebildete Strom um eine Magnetnadel geführt wird, s
die letztere sehr bald eine feste Stellung an, als Beleg,
circulirende Strom eine beständige Stärke besitzt. Die abl

aft nimmt zu bei zunehmender Schnelligkeit der Umdrehung, loch in etwas geringerem Verhältnisse als die Geschwindigkeit, dass über eine gewisse Gränze hinaus nichts mehr gewonnen rd. Der Grund ist in dem Umstande zu suchen, dass für die Umkehrung der magnetischen Polarität des rotirenden Ankers stets ie gewisse Zeit erfordert wird.

Das folgende von W. Weber angegebene Verfahren ist geeigter, den Einfluss der Zeit auf die Stärke eines inducirten Stroms ermessen. Ein cylindrischer Stab von weichem Eisen, etwa ein tre lang, werde an beiden Enden mit den gleichartigen Polen r kräftiger Magnete in Berührung gesetzt. Angenommen es en die positiven Pole, so bemerkt man, dass der Stab fast seiner zen Länge nach und überall so ziemlich gleich stark positiv ;netisch geworden ist. Hatte man nun vor dem Anlegen der nete eine Drahtrolle über den cylindrischen Stab geschoben, ıssen sich durch jede Hin- und Herbewegung derselben elecbe Ströme hervorrufen, und zwar findet man, dass die Stärke s Stroms der Länge des Wegs, den die Rolle zurückgelegt, fast ıu proportional ist.

Beschreibt die Drahtrolle bei mehreren hinter einander folgen- Versuchen immer dieselbe Länge des Wegs, während der in erzeugte Strom durch die Multiplicatorwindungen der langsam wingenden Magnetometernadel geht, so erhält man immer diee Grösse der Ablenkung, ob nun die Bewegung rasch oder gsamer vor sich gegangen ist. Man erkennt hieraus: dass die ıge der durch electrodynamische Vertheilung frei werdenden tricität nicht von der Schnelligkeit der Einwirkung, sondern von dem Wege abhängig ist, den die vertheilende Kraft bei chförmig fortdauernder Einwirkung zurücklegt. Was dagegen Stromstärke oder diejenige Electricitätsmenge betrifft, welche chzeitig durch jeden Querschnitt des Drahts eilt, so ergibt sich, diese in geradem Verhältnisse zur Geschwindigkeit der inrenden Bewegung steht.

159. Lässt man den einer gewissen Länge des Wegs entchenden Inductionsstrom durch den Draht eines gewöhnlichen iplicators (368) mit einfacher oder astatischer Doppelnadel en, so steht die Grösse der Ablenkung nur dann in einfacher ehung zur gebildeten Electricitätsmenge, wenn der Strom die ıtwindungen bereits durcheilt und die ganze Kraft seines ses auf die Nadel bereits übertragen hat, bevor dieser Zeit eben wurde ihre Ruhelage zu verlassen. In diesem Falle ist die Schnelligkeit der Einwirkung von grosser Bedeutung für Werth der gewonnenen Resultate. Der Grund liegt, wie leicht nsehen darin, weil die ablenkende Kraft des Stroms bei verdenen Stellungen der Nadel nicht gleich bleibt.

Die Geschwindigkeit, welche die Galvanometernadel durch den

senkrechten Stoss eines Stroms von nur augenblicklicher I
empfängt, wird allmählig durch die rückführende Kraft des
magnetismus wieder aufgehoben. Der unterdessen beschri
Bogen sey α. Denkt man sich die gesammte Kraft des Stoss
eine gleichförmig fortwirkende Kraft verwandelt, immer senl
gegen die Axe der Nadel thätig und auf die Zeit einer g
Schwingung vertheilt, so würde derselbe Bogen α zu
gelegt werden müssen. Die Bewegung würde aber in d
Falle von der Wechselwirkung zweier Kräfte abhängig
die sich um den Mittelpunkt des Bogens α im Gleichgewicht
müssten, und von welchen die eine, nämlich die erdmagne
Kraft die Grösse $T \sin \frac{\alpha}{2}$ besässe. Die Kraft des Stosses
was hier dasselbe ist, die Menge der in Umlauf ge
ten Electricität verhält sich demnach wie das Pr
des Erdmagnetismus in den Sinus des halben A
kungsbogens. Man gewinnt hierdurch ein Mittel die Kräft
schiedener Inductionsströme von sehr kurzer Dauer unter ein
zu vergleichen.

460. Durch Maassbestimmungen, welche auf dem so eb
schriebenen Wege ausgeführt wurden, hat Lenz (Pogg. An
385) zuerst bewiesen: Dass die electromotorische K
welche unter dem vertheilenden Einflusse eines
nets, der gleichmässig auf alle Windungen einer D
rolle einwirkt, in dieser letzteren geweckt wird
gleicher Grösse der Windungen im geraden Ver
nisse zu ihrer Anzahl steht, und von der Dicke s
von dem Stoffe des Drahts ganz unabhängig ist.

Aus einem Leitungsdrahte von gegebener Länge, dess
den mit denen des Multiplicatordrahts verbunden waren,
eine von Versuch zu Versuch zunehmende Anzahl gleichgr
neben einander liegender Windungen gebildet, auf welche man
den inducirenden Magnet eine sehr kurze Zeit und immer mi
cher Stärke einwirken liess. Da, wie bemerkt, die Drahtverbi
unverändert blieb, also der Leitungswiderstand bei allen
chen gleich war, so musste nach dem Ohm'schen Geset
electromotorische Kraft sich genau wie $\sin \frac{\alpha}{2}$ verhalten.

So sind z. B. die folgenden Resultate gewonnen worden, aus wel
angeführte Gesetz sehr deutlich hervortritt.

Zahl der Windungen	Ablenkung α	$\sin \frac{\alpha}{2}$
5	8,63	0,07525
10	17,40	0,15126
15	26,45	0,22875
20	35,25	0,30278
25	45,10	0,38349
30	55,05	0,46213.

hat ferner gefunden, dass Windungen von ungleicher Grösse der inducirten electromotorischen Kraft dennoch beitragen wenn, wie diess z. B. bei der vorher erwähn-schen Anordnung leicht erreicht werden kann, der in-Anker oder Magnetstab sich auf beiden Seiten der Rolle erhältnissmässig grosse Entfernung hin erstreckt. Lie-en einige Windungen vergleichungsweise zu andern des inducirenden Magnets sehr nahe, so kommen sie letzteren etwas in Nachtheil. Die folgende allgemeine isst alle Verhältnisse: Die electromotorische Kraft htrolle ist gleich der Summe der electromoto-räfte ihrer einzelnen Windungen.

kennt leicht, dass dieses Verhalten gerade das umge-dem ist, was früher über die magnetisch vertheilende Kreisstroms auf einen durch seine Axe gelegten Eisen-iesen wurde. Auch erklärt es sich ganz auf dieselbe liefert dadurch einen Beweis, dass die inducirende Magnetelements auf ein Element einer benachbarten e dem Quadrate der Entfernung umgekehrt proportional ten sich also die Weiten zweier Ringe von einerlei wie 1 : 2, so verhalten sich die Electricitätsmengen, jedem Elemente derselben durch Vertheilung frei wer-: 1; da aber der weitere Ring die doppelte Masse des sitzt, so wird gleichwohl in beiden eine gleiche Electri-e in Freiheit gesetzt; dergestalt dass bei gleicher redu-ge des gesammten Schliessungsdrahts eine gleiche Electricität in Umlauf kommen muss.

man, immer dieselbe Anzahl Windungen beibehaltend, cke verändert, zugleich aber dafür Sorge trägt, dass der eitungswiderstand der gesammten Drahtverbindung un-leibt (indem man z. B. eine verhältnissmässige Länge raht einschliesst oder herauszieht), so erhält man unter sse derselben inducirenden Kraft stets denselben Aus-Nadel. Vermindert sich dagegen bei zunehmender Draht-eichem Maasse der Widerstand der ganzen Drahtverbin-igt die in Umlauf gesetzte Electricitätsmenge proportio-Querschnittsfläche. Vergrösserung der Drahtmasse ist so fern von Nutzen, als dadurch der Leitungswiderstand wird. Eben so äussert auch die Materie des Drahts kei-Einfluss, als den, welcher ihr gemäss ihres Leitungs-nach dem Ohm'schen Gesetze zukommt.

d jetzt im Stande, die Beschaffenheit des zu einer mag-schen Maschine zu verwendenden Drahtes, je nach der Bestimmung dieser Maschine im Voraus zu beurthei-gemeinen erscheint Kupferdraht wegen seines grossen gens vorzugsweise zu diesem Zwecke geeignet. Wo

magnete zur Verfügung zu haben.

Eine von W. Weber gegebne Anleitung: das Maass der Wirk
net-electrischer Maschinen zu bestimmen, findet man in Pogg. An

Da die Electricitätsmenge, welche in einem Drahtgewinde d
erregt werden kann, von der Leitfähigkeit des Stoffes in einer ge
gigkeit steht, die sich nach dem Ohm'schen Gesetze vorherseher
hierdurch ein Mittel gegeben, aus der Stärke des inducirten Stroms
vermögen selbst abzuleiten. Gesetzt man bringe nach und nac
von gleicher Windungszahl aber verschiedenartigen Metallen in V
den Ausläufern des Multiplicators, und erzeuge den Induction
durch dieselbe magnetische Kraft; so wird jeder Versuch zu ei
führen von der Form: $\sin \frac{1}{2} \alpha = \frac{K}{R + r}$, worin K die Summe d
torischen Kräfte sämmtlicher Windungen, R den Widerstand des
drahts, r den Leitungswiderstand der Drahtrolle vorstellt, und wo

wird $$r = \frac{K - R \sin \frac{1}{2} \alpha}{\sin \frac{1}{2} \alpha}$$

Nach dieser Methode hat Lenz das bereits früher (420) mi
tungsvermögen einiger Metalle bei verschiedenen Temperaturen
macht (Pogg. Ann. 31. 418; 44. 345; 45. 105.)

Ein ähnliches Verfahren hat Lenz späterhin mit Jakobi ge
angewendet um die Gesetze der Electromagnete zu studiren. E
Strom von bekannter oder doch messbarer Stärke wurde nämlich
Electromagneten zu erzeugen, der seinerseits wieder in einem zu
gebenden Drahtgewinde einen Inductionsstrom hervorrief, dessen
die Multiplicatornadel gemessen wurde. Dabei nahm man an: das
der durch Verschwinden des Magnetismus im Eise
diesem Magnetismus selbst proportional sey. Die bet
umfassenden Untersuchungen finden sich in Pogg. Ann. B. 47.
B. 51. S. 358; B. 61. S. 254 u. 448. Die Resultate derselben sind
(N. 440) mitgetheilten, auf ganz anderem Wege erhaltenen im
nicht abweichend.

nischen Kette, und können daher innerhalb der Grenze der
;, welche sie besitzen, den letzteren vollständig ersetzen;
B. dünne Metalldrähte zum Glühen oder selbst zum Schmel-
n bringen, Electromagnete zu bilden, electrodynamische Er-
ungen hervorzurufen, chemische Zersetzungen zu bewir-
s. w. Dabei besitzt die magnet-electriche Maschine den nicht
entlichen Vorzug, jeden Augenblick des Bedarfs ohne wei-
orbereitungen zur Verfügung zu seyn. Ihre Anwendbarkeit
ı meisten Fällen ist gegenwärtig noch dadurch beschränkt,
elbst mit den kräftigsten Maschinen, die bis jetzt ausgeführt
n sind, unter übrigens gleich günstigen Bedingungen, eine
igen eines einzigen Kohlen-Zinkpaares gleiche Wirksamkeit
rreicht werden konnte.
rch Benutzung eines sehr einfachen Hülfsmittels, nämlich
wiederholte Unterbrechung des Inductionsstroms, immer in
ugenblicke da er das Maximum seiner Stärke erreicht hat,
gleichwohl gelungen, selbst mit Maschinen von weit gerin-
Kraft als die vorher bezeichnete, eine ziemlich lebhafte
rzersetzung hervorzubringen, heftige electrische Schläge
heilen und starke, glänzende Funken zu erzeugen. Unterbre-
en der metallischen Schliessung des Inductordrahtes während
ler Umdrehung lassen sich auf mancherlei Weise bewerk-
en. Bei der Stöhrer'schen Maschine geschieht es dadurch,
lie stählernen Ringsegmente, welche in Verbindung mit den
a auf ihnen schleifenden gabelförmigen Stahlfedern den Com-
r bilden, um ein weniges grösser als Halbkreise sind, wo-
wie leicht einzusehen, zweimal bei jeder Umdrehung eine
elbare Schliessung der Kette hergestellt wird, dergestalt
während eines Augenblicks die Verbindung der Stahlfedern
it eines in den Schraubenklemmen *h* und *h'* (Fig. 208) befe-
ı Leiters nur als Nebenschliessung erscheint. Ist diese Neben-
ssung ebenfalls gut metallisch, so wird die Circulation der in-
n Electricität keinen Augenblick unterbrochen, nur theilt sich
om zweimal bei jeder Umdrehung, in der Weise, dass ein Theil
elbar von einem Ringsegmente zu dem nebenliegenden über-
ein anderer Theil der Nebenschliessung folgt. Ist aber die
e nur unvollkommen oder gar nicht bewerkstelligt, so zei-
ch electrische Funken bei jeder Unterbrechung des Stroms,
) oft die schleifenden Federn das eine oder andere Ringseg-
erlassen. Wenn der Inductor aus Windungen eines dicken
s besteht, so sind die Funken stark und glänzend, und bei
r Umdrehung erhält man einen Strom von electrischem
, begleitet von lebhaftem Sprühen verbrennender Eisentheil-
Wird die Nebenschliessung durch einen Wasserzersetzungs-
t gebildet, so beginnt die Gasentwicklung sogleich mit der
hung des Inductors. Werden die Federn, oder besser die da-

28 *

mit in Verbindung stehenden Metallstücke L und L' (Fig. 201) mit den Händen gefasst, so erhält man zwei Schläge bei jeder Umdrehung. Durch schnelle Umdrehung können daher diese Nervenerschütterungen sehr gehäuft und dadurch bis ins Unerträgliche gesteigert werden. Die magnet-electrischen Maschinen werden am häufigsten zur Hervorbringung physiologischer Erscheinungen benutzt, weil zu diesem Zweck auch kleinere Apparate, wie der oben beschriebene von Stöhrer, vollkommen genügen.

462. Die durch Unterbrechung momentan gesteigerte Thätigkeit des magnet-electrischen Stromes beruht auf einer sehr merkwürdigen vertheilenden Einwirkung, welche die Inductionsströme und überhaupt electrische Ströme aller Art im Augenblicke ihres Entstehens und während ihrer Intensitätszunahme, so wie während ihres Verschwindens auf die natürlichen electrischen Flüssigkeiten des Leiters ausüben, durch den sie ihren Weg nehmen; eine Einwirkung, die übrigens ihrem Wesen nach von ganz analoger Art ist, wie die bisher betrachteten Inductionserscheinungen (Pogg. Ann. B. 35. S. 413. B. 56. S. 251.)

Man verbinde die beiden Platten eines constanten electrischen Paares durch einen kurzen Draht; man wird dabei, wie man auch verfahren mag, nur schwache Funken und keinen merklichen Schlag erhalten. Verwendet man aber als Schliessungsdraht eine Schraubenrolle und hat man in diese einen Eisenkern eingeschoben, so fühlt man beim Oeffnen der Kette, wenn man zuvor beide Drahtenden mit den Händen gefasst hatte, einen Schlag. Zugleich zeigt sich an der Trennungsstelle ein heller Funke, und wenn der Draht aus Quecksilber gezogen wird, bedeutende Verbrennung desselben. Im Augenblicke der Schliessung wird weder ein Funken noch die geringste Nervenerschütterung bemerkt. Es liegt nahe, das Ausbleiben des Funkens im letzteren Falle als eine Folge des vermehrten Leitungswiderstandes zu betrachten, die erhöhte Wirkung beim Oeffnen aber dem Stosse, also einem rein mechanischen Effecte der einmal im Bewegungszustande befindlichen Electricität zuzuschreiben. Diese Ansicht der Sache ist jedoch unrichtig; denn wenn man zwei lange Drähte neben einander um einen Eisenkern wickelt und sie dann so unter einander und mit der galvanischen Kette verknüpft, dass der Strom beide Gewinde in entgegengesetzter Richtung durchlaufen muss, so zeigt sich weder beim Oeffnen noch beim Schliessen ein stärkerer Funken als bei der Anwendung eines kurzen Drahtes. Dass der verstärkte Trennungsfunken überhaupt nicht von einer Vermehrung der circulirenden Electricitätsmenge herrühren kann, zeigt am deutlichsten der folgende Versuch: Man verbinde das eine Ende des Inductordrahtes einer magnet-electrischen Maschine mit dem Multiplicatordrahte eines Galvanometers, schliesse die Kette durch einen dünnen Argentandraht und messe die Stärke des z. B. durch

ıdrehung inducirten Stroms. Man schliesse sodann eine e mit eingeschobenem Eisenkern in dieselbe Kette ein, aber dafür so viel Argentandraht, dass der Gesammtlei-lerstand unverändert bleibt; man wird finden, dass die ne halbe Umdrehung erzeugte Electricitätsmenge sich nicht geändert hat. Da demnach durch Einschliessung ei-romagnets in den Kreislauf eines electrischen Stroms die bewegter Electricität im Ganzen weder vermehrt noch ·rt wird, so kann die geschwächte Wirksamkeit beim :n der Kette, so wie die gesteigerte beim Oeffnen, nur en Grund haben, dass unter dem Einflusse des Electro-der Strom in der ersten Periode seiner Circulation ge-t, dafür aber in der letzten Periode um eben so viel wie-ärkt worden ist.

Drahtrolle ohne Eisenkern äussert einen ganz ähnlichen jedoch in vermindertem Grade. Ein langer, nicht gewun-ıht gibt ebenfalls beim Oeffnen einen stärkern Funken als liessen, nur ist die Wirkung noch weniger auffallend, als elben Drahte, nachdem man daraus ein Schraubengewinde hatte, wiewohl weit auffallender als bei unmittelbarer ıng der Kette. So wie die Länge des Schliessungsdrahtes steigert sich die Wirkung (Trennungsfunke und Schlag) ssmässig, bis sie über eine gewisse Gränze hinaus we-ısehr vermehrten Leitungswiderstandes wieder abnimmt.

liese Erscheinungen zeigen darauf hin, dass der electri-ım, während seine Intensität zunimmt, in der Masse des velchen er durchläuft, einen Strom in entgegengesetzter inducirt, und dass er dadurch im ersten Augenblicke seine rksamkeit schwächt; dass er dagegen beim Oeffnen der o während der dem Verschwinden vorangehenden Intensi-ıme, in der Drahtmasse einen gleichgerichteten Strom in-ırch dessen Hinzutritt seine eigne Wirksamkeit erhöht der Schliessungsdraht lang und zu einer Schraube aufge-verden diese Wirkungen sehr gesteigert, weil eine jede eine vertheilende Kraft auf die benachbarten ausübt und ieder dem Einflusse dieser unterworfen ist. Durch Ein-eines Eisenkerns in die Rolle erhält man eine noch mehr e Wirkung, indem der verschwindende Magnetismus des eim Oeffnen der Kette in gleichem Sinne wirkt, wie der ndende Strom im Drahte.

esondere Art Inductionsströme, welche wir so eben ken-'nt haben, deren eigenthümliche Wirksamkeit gleichsam besteht, die Entladungszeit des erzeugenden Stromes ab-und dadurch, ohne Aenderung seiner Quantität dennoch ensität zu steigern, sind von ihrem Entdecker, Faraday,

Ueber den Grund dieses Verhaltens geben die folge
suche und Erfahrungen befriedigenden Aufschluss. V
gleich langen Drähten (*a* und *b*), die neben einander
Eisenkern gewickelt sind, werde der eine (*a*) durch Ve
seiner Enden unmittelbar metallisch geschlossen, der a
mit einer electrischen Kette verbunden. Man erhält be
des letzteren keinen Schlag und keine merkliche Verstä
Funkens; diese Verstärkung tritt aber alsbald ein, wen
Enden des andern Drahtes (*a*) getrennt lässt, so dass k
tionsstrom darin zur Entwicklung kommen konnte. D
eines Nebenstroms oder Inductionsstroms zweiter Ordn
Masse des Hauptleiters (*b*) selbst wird also verhindert
sehr aufgehalten, wenn in einem gleichlaufenden Nachba
ein Strom inducirt werden kann. -- Bringt man in die H
Drahtrolle an die Stelle des Eisenkerns einen geschlos
linder von Kupferblech, so kann die Wirkung des Ne
ebenfalls nicht aufkommen. Dieses Verhalten ist dem vo
den ähnlich, denn man weiss, dass ein electrischer St
genblicke seines Verschwindens in einem Blechcylind
umkreiste, Kreisströme von gleicher Richtung inducirt
wicklung dieser Ströme wird verhindert, wenn der Bl
der Länge nach aufgeschlitzt ist, ganz so wie in dem
drahte (*a*) durch Lösung der verknüpften Enden. In de
ein aufgeschlitzter Blechcylinder keinen Einfluss auf di
keit der Drahtrolle. Ein geschlossener Cylinder von
oder auch ein massiver Eisenkern, als gute Leiter der
und ganz abgesehen von ihrer magnetischen Thätigke
sich in der Höhlung der Drahtrolle ähnlich wie der Kup
verhalten. D. h. während des Verschwindens des in den
dungen circulirenden ursprünglichen Stroms, so wie w

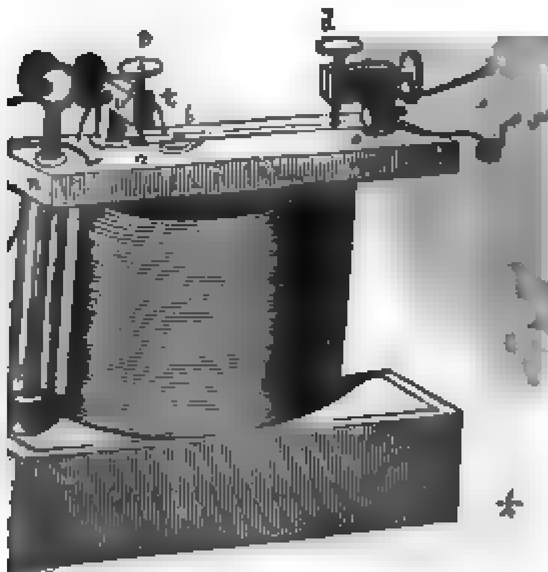
n Kraft des weichen Eisens erforderliche Zeit abgekürzt Pogg. Ann. B. 48. S. 95. B. 49. S. 72.)

Da durch Vermittlung von Inductionsströmen zweiter Orde Möglichkeit gegeben ist, die Intensität eines electrischen auf eine in der That überraschende Weise zu erhöhen, so s nur noch einer geeigneten Vorkehrung, den metallischen ıenhang in regelmässiger Folge und mit genügender gkeit zu unterbrechen, um mit galvanischen Ketten von für sich mässiger Triebkraft, Erscheinungen zu bewir- man sonst nur mit kräftigen electrischen Säulen heringen vermochte, wie Wasserzersetzung, starke Fun-glühen von Kohlenspitzen, eine Folge von Schlägen

von Neeff erfundene Blitzrad (Fig. 131, S. 276) ist eine e Vorrichtung. Man leite das eine Ende eines constanten hen Elementes, z. B. eines Daniell'schen Kupfer-Zink-zu der Axe des Blitzrades, das andere zu einer Inductions-00 — 600 Umwindungen eines Drahtes von 1 Millimetre welche den Strom weiter zu dem Kupferstreifen des Blitz-hrt und dadurch die Kette schliesst. Man wird dann bei rch Umdrehung der Scheibe bewirkten Unterbrechung das ringen eines Funkens bemerken; gleichzeitig erhält man chlag, wenn man die Drahtenden der Rolle, welche zu die-ecke am Besten in dicke cylindrische Metallstücke aus-mit den Händen gefasst und dadurch eine Nebenschlies-werkstelligt hatte.

h eine höchst sinnreiche Vorrichtung, welche Neeff, unter-urch das mechanische Talent Wagners bei dem magnet-notorischen Apparate anbrachte (Pogg. Ann. B. 46. S. 104.), die Unterbrechungen unter der Einwirkung des Stromes esorgt werden. Das Blitzrad wurde dadurch entbehrlich gemacht. Fig. 209 zeigt den Neeff'schen Magnetelectromotor in ¼ der natürlichen Grösse und in der sehr zweckmässigen Gestalt, welche demselben gegenwärtig von dem Mechanikus Desaga in Heidelberg gegeben wird. — Die Drahtrolle von länglich runder Gestalt ruht auf einer Holzunterlage. Ihre Höhlung ist mit Bündeln von weichem Eisendraht ausgefüllt. Zwei dieser Draht-

Fig. 209.



stücke, oben und unten mit Schrauben versehen, dienen
um das Bodenbrett mit dem Brettstücke *nn* und der Rolle
menhalten. *aa'* ist ein federnder Kupferstreifen, der bei *a*
halten wird und bei *b* eine kleine Platte von weichem Ei
Letztere schwebt über den an dieser Stelle etwas höhe
steigenden Eisenstiften der Inductionsrolle, ohne jedoch
Berührung kommen zu können. Das Ende des Kupferstre
a ist mit einem Platinblättchen bedeckt, das gegen eine Pl
drückt, die an der Schraube *c* fest sitzt. Die Schraube
dienen um die Stellungen der Eisenplatte *b*, so wie der Pl
a zu reguliren. *s* und *t* sind die Enden des Schraubendra
nun das Drahtende *t* in einer Oeffnung des Bügels *u*, ein
draht *s'* in einer Oeffnung des Bügels *u'* festgeklemmt
bindet man *s* und *s'* mit den Polen des galvanischen P
geht der bei *s* eindringende Strom, nachdem er alle Drah
gen durcheilt hat bei *t* in den Bügel *u*, gelangt so zu d
spitze und dem Kupferstreifen und nimmt durch den
seinen Rückweg zu der Quelle. Die Eisenstifte in der D
magnetisch geworden, ziehen die Eisenplatte *b* an; weil
durch das vordere Ende des Kupferstreifens von der Pl
entfernt und also die Kette unterbrochen wird, so verlier
Magnetismus des Electromagnets sogleich wieder und de
wird durch seine Federkraft von Neuem gegen die Spitze
um alsbald wieder entfernt zu werden u. s. w. Die auf di
hin- und hergehende Bewegung ist gewöhnlich nicht sic
lässt sich aber leicht aus dem hieraus entstehenden dum
erkennen. Zugleich bemerkt man zwischen Spitze und P
chen einen lebhaften Funkenübergang. Bringt man an d
enden, bei *s* und in dem Bügel *u*, eine Nebenschliessu
vermindert sich die Lebhaftigkeit des Funkenübergangs,
ein Theil der Electricität diesen andern Weg nimmt. Mitt
Nebenschliessung und zweier Daniell'scher Elemente l
alle die Erscheinungen hervorrufen, welche sonst nur u
Einflusse weit bedeutenderer electromotorischer Kräft
treten. Die Wirkung auf den menschlichen Körper is
mächtig; die Schläge pflanzen sich durch eine Reihe von
Personen fort, wenn diese sich mit benetzten Händen
Endigen die Nebenleiter in Metallgefässen, die mit Wass
sind, so wird die Einwirkung auf die eingetauchten Finge
solchen Heftigkeit gesteigert, dass sie von wenigen
länger als einige Augenblicke ertragen werden kann.
man die Nebenleitung durch Eintauchen zweier Metall
ein Wasserbehälter von Glas oder Porzellan und taucht
Hände oder auch nur eine Hand in das Wasser zwisch
Platten, so empfindet man an allen benetzten Stellen die
der eindringenden Electricität.

ı die Stärke der Nervenerregung ganz in der Gewalt zu ha- :braucht man eine besondere Vorrichtung, den **Moderator**, asröhre, oben und unten verkorkt und mit Wasser gefüllt. den oberen Kork geht ein verschiebbarer dicker Draht *ef*, sen unterem Ende eine Platinscheibchen angelöthet ist. Auf ıteren Kork sitzt ebenfalls ein Platinscheibchen mit ange- n Drahte, der durch den Kork geht und zu dem Bügel *u* Venn nun der früher in dem Bügel *u* befestigte Nebendraht *r* n dem verschiebbaren Drahte bei *f* eingeklemmt wird, so ıan durch Herausziehen oder Hinabdrücken des letzteren rch die Nebenschliessung laufenden Strom nach Gefallen :n.

:ff hat an seinem Magnetelectromotor die merkwürdige htung gemacht, dass das zwischen Platinspitze und Blätt- ›erspringende Licht stets auf der Seite des negativen Pols nt, in der Weise, dass, wenn der electrische Strom in der g vom Blättchen zur Spitze geht, nur die letztere vom ımhüllt erscheint, während sich dasselbe bei umgekehrter ›richtung rings um die Spitze auf der Ebne des Blättchens tet, die Spitze selbst aber dunkel bleibt. Diese Erscheinung, uch nur mit bewaffnetem Auge, und auch dann nur beim ange schwacher und mässig starker Electricitäten ganz ı sichtbar, ist doch so auffallend, dass sie mit Hülfe einer .oupe Niemanden entgehen kann. Sehr starke Ströme brin- ı Platinspitze zum Glühen, wodurch ein nur von der Wärme- dung abhängiger Effect mit dem des rein electrischen Lich- ıengt wird. Neeff hält für wahrscheinlich, dass, so wie ht am negativen, die Wärmeentwicklung vorzugsweise am :n Pole auftritt, und sucht diese Ansicht durch verschiedene tungen zu begründen, über welche man das Nähere findet ;. Ann. B. 66. S. 414. Entscheidende Versuche darüber lie- jetzt nicht vor.

. Die electrodynamischen Vertheilungsphänomene lassen :der aus dem Ampère'schen Gesetze noch aus den electro- en Fundamentalgesetzen vorhersehen, dergestalt, dass die itätslehre jetzt drei Hauptclassen von Erscheinungen dar- deren innerer Zusammenhang bisher nicht nachgewiesen iese Lücke ist nun vor Kurzem von W. **Weber** ausgefüllt

.

ı der jetzt allgemein angenommenen Vorstellungsweise, ı sich in einem jeden Stromelemente gleiche Mengen posi- ıd negativer Electricität, welche sich in entgegengesetztem ewegen und dadurch jene unaufhörliche Störung und Wie- tellung des electrischen Gleichgewichtes herbeiführen, die **electrischen Strom** nennen. In zweien Stromelemen- man insbesondere ins Auge fasst, hat man also vier Wech-

selwirkungen electrischer Massen in Betrachtung zu ziehen, abstossende, zwischen den beiden positiven und zwische beiden negativen Massen in den Stromelementen, und zw ziehende, zwischen der positiven Masse in dem ersten u negativen Masse in dem zweiten, und zwischen der neg Masse in dem ersten und der positiven in dem zweiten.

Die Resultante dieser Wirkungen würde nach den beka electrostatischen Gesetzen Null seyn müssen, weil die glei gen, sich abstossenden Massen, den ungleichartigen, sich henden gleich sind und aus gleicher Entfernung auf einande ken. Weber hat aber gezeigt, dass, wenn diese Resultante blos für den Fall der gegenseitigen Ruhe, sondern allgeme jede Bewegung beider electrischer Massen gegen einander bestimmt werden soll, zu demjenigen Werthe, welchen di trostatischen Gesetze für die Kraft geben, welche zwei elect Massen auf einander ausüben, noch eine von ihrer gegense Bewegung abhängige Ergänzung hinzukommen muss. Um Ergänzung ausfindig zu machen, stützte er sich auf die f den, einfachen Sätze:

1) Electrische Massen, welche in entgegengesetztem bewegt werden, wirken schwächer auf einander, als dieje welche in gleichem Sinne bewegt werden.

2) Zwei electrische Massen wirken desto schwächer (a send oder anziehend, je nachdem sie gleichartig oder ung artig sind) auf einander, je grösser das Quadrat ihrer rel Geschwindigkeit ist.

Der erste dieser Sätze geht unmittelbar aus der Thatsach vor: dass zwei Stromelemente, die in einer geraden Linie l mit welcher ihre Richtung zusammenfällt, einander abstoss anziehen, je nachdem die Bewegung in gleichem oder entg gesetztem Sinne stattfindet. Die relative Geschwindigkeit, der Unterschied der absoluten Geschwindigkeit zweier Mass positiv oder negativ, je nachdem dadurch eine gegenseitig fernung oder Annäherung bewirkt wird. Diese Verschiedenh Vorzeichens äussert aber keinen Einfluss auf die Grösse der we seitigen Einwirkung. Die Grösse der Kraft muss daher vo geraden Potenz, also zunächst vom Quadrate der relativ schwindigkeit abhängig seyn.

Ausgehend von diesen Gesetzen gelangte Weber zu mathematischen Ausdrucke, aus welchem sich die Fundam gesetze der Electrostatik und Electrodynamik mit gleicher S ableiten lassen, während mit derselben inneren Nothwendigk allgemeines Gesetz der Inductionserscheinungen daraus hervo

Die Gränzen eines Leitfadens der Experimentalphysik v ten, auf diese wichtigen analytischen Untersuchungen, welche das wissenschaftliche Gebäude der Electricitätslehre g

am erst seinen Schlussstein erhalten hat, hier einzugehen. Wir müssen uns desshalb darauf beschränken, die physikalischen Principien derselben hervorgehoben zu haben, während wir hinsichtlich der daraus gezogenen Folgerungen auf die Arbeit selbst verweisen, welche in den Abhandl. bei Begründung der Königl. sächs. Ges. d. Wiss. etc. S. 305, niedergelegt ist.

Von der thierischen Electricität.

466. Eine höchst merkwürdige Quelle electrischer Thätigkeit hat man in dem Organismus mehrerer Fische entdeckt. Mit Sicherheit sind bis jetzt drei Gattungen electrischer Fische bekannt:

Der Zitterrochen (raja torpedo), von welchem zwei Spielarten, der gefleckte und der marmorirte in den den europäischen Süden begränzenden Meeren ziemlich häufig vorkommen und schon den Alten bekannt waren. Der electrische Ursprung ihrer eigenthümlichen Kraft ist aber erst im letzten Drittel des vorigen Jahrhunderts von Walsh nachgewiesen worden. Eine dritte Art ist der brasilianische Zitterrochen (narcine brasiliensis).

Der Zitteraal oder Surinam'scheAal (gymnonotus electricus) wird in Guiana und hauptsächlich in den kleinen Zuflüssen des Orinoco angetroffen.

Der Zitterwels (malapterurus oder silurus electricus) lebt in dem oberen Theile des Nils.

Von diesen Fischen ist bis jetzt nur der Zitterrochen und Zitteraal genau untersucht worden. Beide besitzen besondere electrische Organe, bei welchen gewisse allgemeinere und übereinstimmende Structurbedingungen auftreten, die wesentlich die Bestimmung electromotorischer Apparate zu haben scheinen. Sie bestehen aus über einander liegenden, unregelmässigen Prismen oder Säulen von 1—1,5 Linien Dicke und sehr ungleichen Längen, die durch Scheidewände von einander getrennt sind. Jede einzelne Säule ist aus übereinander geschichteten Blättchen zusammengesetzt, zwischen welchen eine gallertartige Flüssigkeit, gleichsam wie in den Zellen eines galvanischen Apparates eingeschlossen ist. Die trennenden feinen Häute oder Blättchen zeigen, unter dem Mikroskope betrachtet, auf ihren beiden Oberflächen zellige Ueberzüge, innerhalb welcher sich Verzweigungen der Blutgefässe so wie der Nervenfasern parallel mit den Oberflächen, also winkelrecht gegen die Längenrichtung der Säulen verlaufen, und zwar beide in verschiedenen Ebnen übereinander, nämlich die einen (die Blutgefässe) näher der oberen, die andern (die Nervenfasern) näher der unteren Fläche der Blättchen, dergestalt, dass die gallertartige Flüssigkeit auf der einen Seite einer jeden Zelle zunächst mit Blutgefässen, auf der anderen Seite mit Nervensubstanz in Berührung kommt.

Die Torpedo besitzt zwei solcher Organe, die auf beiden S des Rückgrates, in der vorderen Hälfte des Körpers, unmitt unter der Haut liegen. Die einzelnen Säulchen sind vom Rü abwärts gegen den Bauch gerichtet, und die in denselben ve fenden Nervenverzweigungen sammeln sich zu vier dicken dem Gehirn führenden Strängen.

Der Gymnotus hat vier electrische Organe. Alle ziehen bandartig vom vorderen Theile des Körpers bis zum Ende Schwanzes hin und erhalten ihre Nervenverzweigungen dur mehrere hundert von dem Rückenmarke auslaufende Fäden. D einzelnen Säulen oder Zellensysteme verfolgen dieselbe Längen richtung und haben demnach bei dem Gymnonotus eine ungleich be trächtlichere Länge als bei der Torpedo. Zwei von den vier Orga nen liegen auf beiden Seiten der Wirbelsäule, das andere Paa von geringerer Mächtigkeit darunter.

Der electrische Apparat scheint diesen Thieren von der Natu als Waffe verliehen, sey es zur Vertheidigung, sey es um kle nere Fische, deren sie zu ihrer Nahrung bedürfen, durch den elec trischen Schlag zu betäuben oder selbst zu tödten. Sie könne sich nach Willkühr, aber nicht, wie man früher geglaubt hat, nac jeder Richtung entladen. Der frisch gefangene, noch ganz krä tige electrische Fisch vermag viele Schläge rasch hinter einand 60—70 in einer Minute zu ertheilen. Eine so häufige Wiederho lung entkräftet ihn aber, so dass er endlich unfähig wird, bevo er ausgeruht und sich genährt hat, neue Schläge zu geben. Wen die Entladungen aufgehört haben, ist es unmöglich im Innern de Organs die geringste Spur von Electricität zu entdecken.

Die electrische Entladung eines Zitterrochens, der noch seine volle Lebenskraft besitzt, kann nach dem Willen des Thieres er folgen, so wie dasselbe an irgend zweien Puncten gleichzeitig leitend berührt wird. Die stärksten Schläge erhält man aber durch gleichzeitige Berührung des Rückens und Bauches. Die Wirkung pflanzt sich auch auf geringe Entfernungen hin durch das Wasser fort; durch Nichtleiter dagegen, z. B. durch die allerdünnste Luft schicht wird dieselbe vollständig unterbrochen. Berührt man Bauch und Rücken mit Silberplatten, die an isolirten Handhaben gehal ten und mit den Enden eines langen Multiplicatordrahtes verbun den werden; reizt man dann das Thier, indem man z. B. die eine Platte auf seinem Körper reibt, und veranlasst man dadurch eine Entladung, so zeigt sich, so oft diese erfolgt, eine Ablenkung der Magnetnadel. Dabei geht der Strom immer positiv vom Rücken durch den Draht zum Bauch über, so dass also die Rückenseite den positiven Pol, die Bauchseite den negativen Pol einer jeden der kleinen Säulen bildet. Mittelst des Entladungsstroms der Tor pedo zersetzte John Davy Wasser, Blei- und Silberlösung, zwar nur in geringer Menge, aber doch deutlich sichtbar. (Pogg. Ann

2.) Werden die Silberplatten mit einem langen Schrauben-
' verbunden, in dessen Höhlung ein Eisenkern geschoben
ingt man dann an irgend einer Stelle der Drahtleitung eine
brechung an, amalgamirt die Drahtenden an der Unterbre-
;sstelle und reibt sie an einander, während der Fisch gereizt
so bemerkt man bei jeder Entladung einen Funken (Linari;
eucci).

ie electrische Thätigkeit des Zitterrochens hört nicht auf,
ı die sein electrisches Organ bedeckende Haut entfernt oder
Schichten von der Substanz des Organs selbst abgeschnit-
'erden. Auch die Richtung des Stroms wird dadurch nicht
lert, wohl aber seine Intensität geschwächt. Ungeachtet der
:n constant als die positive Seite und der Bauch als die ne-
: Seite des electrischen Apparates erscheint, so können sich
ıuch irgend zwei Puncte der Rückenseite oder der Bauch-
vergleichungsweise entgegengesetzt electrisch verhalten.
wird aus dem Umstande begreiflich, dass die einzelnen Säul-
welche das Organ bilden, an verschiedenen Stellen aus einer
chen Zahl Zellen zusammengesetzt sind. — Wenn man das
ı des Zitterrochens entblösst und den letzten Flügel dessel-
en sogenannten electrischen Gehirnlappen, welcher haupt-
:h dem Organe die Nerven gibt, sanft berührt, so erfolgen
tarke Entladungen. Berührt oder verletzt man eine der zu
:lectrischen Apparate führenden Nervenstränge, so ist die
ung nur local. Werden die Nerven des einen Organs durch-
ten, so ist das Thier unfähig, auf dieser Seite sich zu ent-
während es mit der unverletzten Seite noch Schläge erthei-
nn. Werden alle vom Gehirn zu dem electrischen Organe
den Nerven durchschnitten, so verliert das Thier gänzlich
ermögen, electrische Wirkungen nach Willkühr hervorzu-
n. Berührung oder Verletzung des Gehirns bleibt ohne Ef-
Dagegen Verletzung eines Nervenstrangs veranlasst in dem
in Verbindung stehenden Theile des Organs, aber auch nur
ıem, eine deutliche, wenn auch schwache electrische Ent-
;. Am sichersten lässt sich diess erkennen, wenn man meh-
roschschenkel mit blossgelegten Nerven an verschiedenen
ı des Organs vertheilt. Nur der auf der gereizten Stelle lie-
Schenkel (vorausgesetzt, dass zwei Puncte seines Nervs
m electrischen Organe in Berührung standen, und dadurch
eschlossene Kette bildeten) wird in Zuckungen gerathen.
; des phénomènes Electro-Physiol. par C. Matteucci, auch
Ann. 39. 485.)

ı electrische Kraft des Zitteraals ist weit grösser, als die des
ochens. Die ersten Schläge eines noch ungeschwächten, ge-
ı Gymnotus gleichen denen einer grossen Leydner Flasche
ıwirken so heftige Erschütterungen, dass selbst grössere

Thiere, wie Pferde, dadurch betäubt werden können (Hum
Gleichwohl geht der Entladung keine merkliche electrisch
nung vorher, und durch jeden schlechten Leiter wird sie u
chen. Dem Thiere aufgelegte Metallscheiben mit Drahtv
rungen führen den Schlag nur dann zu dem Körper, w
metallischen Handhaben mit befeuchteten Händen gefasst
Ueberspringen eines Funkens durch die Luft ist nicht ber
Wenn aber der durch Induction zweiter Ordnung (näml
telst einer Drahtrolle) verstärkte Entladungsstrom durc
Eisendraht geht, der gegen die gefurchte Fläche eines rot
Stahlcylinders gedrückt wird, so gelingt es leicht, Funken
halten. Aus der chemisch zersetzenden Kraft des Stroms
seiner Wirkung auf die Magnetnadel erkennt man, dass
Vordertheile des Körpers durch den Draht zum Hintertheil
Durch geeignete Verrückungen der auf das Thier gelegten
scheiben, mit deren Hülfe der Strom zu dem Multiplicat
geleitet wird, ergibt sich, dass jeder Theil des electrischen
gegen alle vorderen Theile negativ, gegen die hinteren po

Die Schläge des Gymnotus sind am kräftigsten, wenn
Hand auf den Körper nahe am Kopfe des Thiers, die and
Ende des Schwanzes aufgelegt wird. Je mehr man von
Gränzen aus die Hände einander nähert, um so schwäch
sich die Wirkung. Der Schlag wirkt auf beträchtliche Ent
hin durch das Wasser, wenn der Körper des Fisches ger
gestreckt liegt und die Hände mit demselben gleichlauf
eine näher dem Kopfe, die andere näher dem Schwanz
taucht werden. Werden sie dagegen, die Längenricht
Thiers rechtwinklig durchkreuzend eingetaucht, so spürt
nichts; in jeder andern Lage eine mehr oder weniger st
wirkung. Hieraus geht deutlich hervor, dass im Augenbl
Entladung die Electricität sich nicht bloss von den End
sondern von allen Stellen des Organs in das Wasser ergi
folglich in der ganzen Umgebung des Thiers, von jedem
Leiter theilweise aufgenommen werden muss. Der Zitteraal
sich seiner eigenthümlichen Kraft, so wie auch der Stelle,
dieselbe am stärksten äussert, genau bewusst zu seyn, d
hat bemerkt, dass er, um kleine Fische durch den Sc
tödten, rasch seinen Körper in Gestalt eines Rings um sei
zu biegen sucht. (Faraday in Pogg. Ann. Ergänzungsb.

467. So gross die Aehnlichkeit ist zwischen dem elec
Apparate dieser Fische und einer galvanischen Säule, die
vielen Elementen zusammengesetzt ist und grosse Wide
zu überwinden hat, so lässt sich doch die Vergleichung
sächlich aus dem Grunde nicht durchführen, weil der Schla
electrischen Fisches nicht unbedingt bei geeigneter Be
desselben stattfindet, sondern von dem Willen des Thie

:- Der augenscheinliche Einfluss, welchen Gehirn und Nerven
ie Ladung des electrischen Organs ausüben, die gänzliche
esenheit von Electricität in diesem Organe sobald als jene
itig bleiben, lässt kaum mehr bezweifeln, dass man die wahre
che der Schläge in einer eigenthümlichen Nerventhätigkeit
uchen habe, während das electrische Organ nur einen Ver-
kungsapparat bildet, vielleicht ähnlich der Poggendorff'schen
ngssäule (387), und bestimmt die electromotorische Kraft
s Stromes zu erhöhen, der aus einer mittelbar oder unmittel-
in den Nerven liegenden Electricitätsquelle von verhältniss-
sig sehr niederer Spannung zugeführt wird. Hierdurch wird
Frage über das Wesen der thierischen Electricität in gewisser
sicht wieder auf den Standpunct zurückgewiesen, zu welchem
eits Galvani gelangt war.

Galvani glaubte bekanntlich aus seinen Beobachtungen die
erung ziehen zu müssen, dass das Gehirn der Thiere die
lle einer eigenthümlichen Electricität sey, welche durch Ver-
ung der Nerven in allen übrigen Theilen des Körpers verbrei-
werden könne. Die Muskeln betrachtete er als Behältnisse,
n sich jenes Fluidum, die Nervenelectricität, ähnlich wie die
ricität der Maschine in einer Leydner Flasche, ansammeln
e. Im Verlaufe des so berühmt gewordenen wissenschaftli-
Streites mit Volta, zu dem diese Vorstellungen führten, er-
ete Galvani einen schlagenden Beweis für seine Ansicht
gegen die Richtigkeit der Contacttheorie gewinnen zu kön-
wenn es ihm gelänge, in dem präparirten Froschschenkel
n electrischen Strom unabhängig von jedem metallischen Ein-
e nachzuweisen. Es glückte ihm durch Zurückbiegen des
es gegen die aus dem Schenkel hervortretenden Nerven. So
nämlich auf diese Weise der Froschschenkel zu einer in sich
st zurückkehrenden Kette geschlossen wurde, zeigten sich
ungen. Seinen eigentlichen Zweck vermochte Galvani
hwohl nicht zu erreichen, indem sein Gegner überzeugende
eise beibrachte, dass in dem geschlossenen Schenkel die we-
ichen Bedingungen einer Volta'schen Kette, welche die Ge-
vart metallischer Leiter keineswegs als unumgänglich erfor-
vereinigt waren.

er Strom des Froschschenkels ist späterhin von Nobili gal-
metrisch untersucht worden. Er fand, dass die positive Elec-
it sich in der Richtung von dem Fusse nach dem Kopfe des
res, oder vielleicht bezeichnender, von der Aussenfläche der
eln durch das Innere des Schenkels zu den Nerven bewegt.
liche electrische Strömungen durch Berührung von Nerv und
eln hat man bei anderen Thieren bis jetzt nicht beobachtet.
gen hat man gefunden, dass in dem Körper aller lebenden
re, warmblütiger wie kaltblütiger, bei vielen sogar noch einige

Zeit nach dem Tode, Electricität erregt werden kann, wenn man den äusseren mit dem inneren Theile eines Muskels unter Umständen in Verbindung setzt, wobei irgend fremde Einflüsse in keiner Weise sich geltend machen können. Wird z. B. in den Muskel irgend eines Thieres (eines Frosches, eines Kaninchens, einer Taube) ein Einschnitt gemacht, dann der Rand der Wunde mit einem Puncte, das Innere derselben mit einem andern Puncte des blossgelegten Nervs eines präparirten Froschschenkels in Berührung gebracht, so geräth derselbe in Zuckungen. Dieser Muskelstrom lässt sich mit dem Galvanometer gleichfalls nachweisen; man findet, dass er vom Inneren, d. h. von der blutenden Stelle, durch die Muskelmasse zu der Aussenfläche seinen Lauf nimmt. Matteucci ist es gelungen, eine Art electrischer Säule aus Blut und Muskeln zusammenzusetzen, indem er mehrere präparirte Froschschenkel in Stücke zerschnitt und diese auf einer Glasscheibe so an einander reihete, dass immer die Schnittfläche eines Stückes mit der Aussenfläche des nächstfolgenden in Berührung kam. Aehnliche Versuche mit Muskel-Abschnitten verschiedener anderer Thiere gelangen eben so gut.

Durch alle diese Beobachtungen über das Auftreten electrischer Erscheinungen im Blute, in den Muskeln und Nerven; Beobachtungen, welche man in der neuesten Zeit durch sehr zahlreiche und oft sehr grausame Experimente zu vervollständigen und zu erweitern sich befleissigt hat, so werthvoll dieselben in physiologischer Beziehung vielleicht seyn mögen, ist die Physik und unsere Einsicht in die Natur der thierischen Electricität bis jetzt nur unwesentlich gefördert worden.

Seitdem Volta gezeigt hat, dass die Bedingungen zur Entstehung eines electrischen Stroms gegeben sind, so oft drei verschiedenartige, die Electricität leitende Körper, von welchen wenigstens einer chemisch zerlegbar und am besten eine Flüssigkeit ist, in Berührung kommen, kann es in der That nicht mehr auffallen, dass in gewissen Fällen auch im thierischen Körper oder in Theilen desselben electrische Ströme auftreten. Vielmehr würde das Gegentheil befremden müssen.

Man weiss z. B., dass die Flüssigkeit in den Adern (das Blut) gewöhnlich alkalisch, dass dagegen die Flüssigkeit ausserhalb der Blutkanäle stark sauer reagirt. Wenn also an der Berührungsfläche von Adern und Muskeln und unter der Bedingung einer geschlossenen Leitung ein Strom in der Richtung vom Blut zum Muskel entsteht, so ist diess eigentlich nichts Anderes, als was man nach dem bekannten electrischen Verhalten der Alkalien und Säuren gegen einander, im Voraus erwarten musste. Mit gleichem Rechte kann man erwarten, dass an der Berührungsstelle des Blutes mit der neutralen oder sehr schwach sauren Substanz der Nerven, das Streben zur Bildung eines Stroms vom Blute zu den Nerven

da, wo sich Nerv und Muskel berühren, vom ersteren zu dem
leren vorhanden ist. Dem Lebensprozesse kann man bei dieser
se von Erscheinungen, so weit sie bis jetzt studirt sind, mit
id keinen anderen Einfluss beimessen, als den in physikali-
r Beziehung nur untergeordneten, die verschiedenen, die elec-
he Kette bildenden Stoffe im Anfangszustande zu erhalten
vielmehr diesen Zustand, sowie er sich ändert, immer wieder
rneuern.

Einen neuen höchst wichtigen Beitrag zur Lehre von der thie-
ien Electricität verdankt man Du Bois-Reymond durch die
leckung, dass der vom Inneren zur Aussenfläche (oder, wie
Bois-Reymond bestimmter sich ausdrückt, vom Querschnitt
Längenschnitt) des Froschmuskels oder eines Nervs, und so-
durch den Galvanometerdraht cirkulirende, allmählig fast be-
dig gewordene Strom, plötzlich vermindert und sogar zum
schen gebracht werden kann, wenn man den Strom erzeugen-
Muskel oder Nerv durch electrische Reizung, oder auch auf
re Weise in den Starrkrampf versetzt. Du Bois-Reymond
de durch diese Thatsache auf den Gedanken geleitet, dass der
hierischen Organismus bestehende electrische Gleichgewichts-
and allein schon durch einseitige Anspannung gewisser Mus-
, während andere unthätig bleiben, gestört werden müsse.
lich gelang es ihm diese Folgerung durch den Versuch zu
tfertigen. Er verband die Enden eines sehr langen Multiplica-
ahts mit Platinstreifen von durchaus gleichartiger Beschaffen-
nd tauchte dieselben in zwei, concentrirte Kochsalzlösung
altende Gefässe. Als er dann einen gleichnamigen Finger
r Hand in eines dieser Gefässe eintauchte, und sobald die Nadel
g war, die eine Hand, Arm und Seite des Körpers möglichst
haltig anstrengte, entstand ein Strom in der Richtung von der
spannten Hand zur Schulter. Durch ähnliches Anziehen der
ren Hand, während nunmehr die erstere unthätig blieb, wich
Nadel nach der entgegengesetzten Seite aus. Die Grösse des
chlags hängt von der Empfindlichkeit des Instrumentes und
der Stärke der Muskelanstrengung ab.

Dieser merkwürdige Versuch ist seitdem vielfältig wiederholt
bestätigt worden. Auch hat man gefunden, dass die Wirkung
tärkt werden kann, wenn er von mehreren Personen zugleich
efübrt wird, die sich mit befeuchteten (zuvor durch Waschen
Seife sorgfältig gereinigten) Händen zu einer Kette verbin-
deren beide Endglieder, je durch Eintauchen eines Fingers in
Gefässe mit Salzwasser, den Einschluss des Galvanometer-
ts bewerkstelligen. Alle spannen dann gleichzeitig eine gleich-
ige Hand, z. B. die rechte.

68. Auch in dem Fortgange des Pflanzenlebens will man
en electrischer Erregungen bemerkt haben. Pouillet liess in

isolirten Gefässen, welche mit der oberen Platte eines Conden-sators leitend verbunden waren, dessen untere Platte zu dem Bo-den führte, verschiedene Pflanzen aufkeimen und wachsen. So-bald die Keime die Erde der Gefässe durchbrachen und ihre Spitzen erhoben, sammelte sich die negative Electricität in der oberen Condensatorplatte, und diese Erscheinung dauerte fort bei Tag und bei Nacht, so lange die umgebende Luft hinlänglich trocken blieb. Pouillet glaubt diese Electricitäts-Entwicklung der chemischen Einwirkung der wachsenden Pflanzen auf die Luft zuschreiben zu müssen und verknüpft sie mit den bei vielen andern chemischen Vorgängen (namentlich dem Verbrennungsprozesse und der Ver-dampfung wässeriger Lösungen) von andern Physikern sowohl wie von ihm selbst beobachteten electrischen Ausscheidungen (337), wobei gewöhnlich positive Electricität in die Luft entwi-chen, negative von der Erde aufgenommen werden soll. (Po Ann. 11. 417 und 442.)

Alle diese Erfahrungen und besonders die daraus gezogenen Folgerungen bedürfen indessen noch sehr der Bestätigung. Di Electricitätserregung durch den Vegetationsprozess konnte Rie (P. A. 69. 288), der Pouillet's Versuche wiederholte, nicht e kennen. — Dass während der Verbrennung kohlenstoffhaltig Körper in gewissen Fällen eine Störung des electrischen Gleich-gewichts stattfindet, ist allerdings richtig, allein diese Erschein steht in keiner unmittelbaren und wesentlichen Beziehung chemischen Vorgange, sondern beruht, wie neuerdings aufs b stimmteste nachgewiesen ist, auf thermoelectrischen Erregung (Annal. Chem. und Pharm. LXXX. 1.)

Was insbesondere die electrischen Erscheinungen betrifft, welche bei den durch Verdampfung bewirkten chemischen Zer-setzungen auftreten, so hat Reich (Abhandl. bei Begründung d sächsischen Ges. d. Wiss. S. 199) in hohem Grade wahrschein gemacht, dass dieselben ausschliesslich nur bei tumultuarisch Verdampfung entstehen und dass sie in diesem Falle stets v einer Reibung zerstäubter Wassertheilchen an den Wänden Gefässe abstammen. Bei der langsamen Verdampfung hat man Anwendung weder von reinem Wasser noch von wässrigen L sungen eine electrische Erregung mit Sicherheit nachzuwei vermocht.

Ueber den magnetischen Zustand aller Körper.

469. Faraday, dessen Forschungsgeiste die Lehre der Ele-tricität und des Magnetismus schon so zahlreiche und so höch wichtige Beiträge verdankt, hat im Jahre 1845 eine neue magn tische Eigenschaft der Materie entdeckt, die seitdem sowohl v ihm selbst, wie von andern Physikern aufs eifrigste näher

den ist. Er fand, dass die Pole eines sehr starken Elec-
ı fast auf jeden Körper, der in ihrer Nähe an einem un-
ieidenfaden aufgehängt wurde, einen mehr oder weni-
nden Einfluss ausübten. Diese Einwirkung zeigt sich
n verschiedenen Körpern nicht nur in der Stärke, son-
er Art nach verschieden. In letzterer Beziehung theilt
ie Körper in zwei Klassen, welche er durch die Bezeich-
agnetische und diamagnetische Stoffe unter-

teriellen Theile eines magnetischen Körpers werden
ıle des Electromagnets, welchem sie zunächst stehen,
ob es der positive oder ob es der negative sey, an-
ınd zwar geht die Resultante dieser Anziehungen bei
n geringem Umfange und regelmässiger Gestalt (so
ateriellen Theile beiläufig gleichweit von dem Pole ent-
) durch den Schwerpunct ihrer Masse.
eriellen Theile eines diamagnetischen Körpers werden
Polen des Electromagnets abgestossen, und auch diese
ist, bei beiläufig gleichem Abstande der abgestossenen
on dem abstossenden Pole, gegen den Schwerpunct
gerichtet.
rsten Klasse gehören, ausser den schon als magne-
ınten Stoffen, Eisen, Nickel und Kobalt, noch ferner
ırom, Cerium, Titan, Palladium, Platin, Osmium, Alumi-
rstoff, sowie eine grosse Anzahl der Verbindungen die
die meisten derselben sogar im aufgelösten Zustande.
zweiten Klasse gehören die meisten übrigen Körper,
e zusammengesetzte, Leiter wie Nichtleiter der Elec-
ter den einfachen Stoffen: Wismuth, Antimon, Zink,
ium, Natrium, Quecksilber, Blei, Silber, Kupfer, Gold,
ran, Rhodium, Iridium, Wolfram, Phosphor, Stickstoff,
Schwefel, Wasserstoff. Besonders stark diamagnetisch
day das Wismuth, Antimon, Zinn, den Phosphor, das
ıd überhaupt schweres und eisenfreies Glas. In weit
Grade zeigten diese Eigenschaft Harz, Wachs, Holz,
erpentinöl, Wasser, Aether, Alkohol.
netische mit magnetischen Körpern verbunden stören
lig ihr eigenthümliches Verhalten, so dass je nach den
Verhältnissen bald die magnetische, bald die diamagne-
nschaft vorherrscht, bald beide verschwinden. So sind
ines Eisen- oder Mangansalzes in Wasser bei gewisser
g neutral, bei stärkerer Verdünnung diamagnetisch, wäh-
ntrirtere Lösungen derselben Salze sich entschieden
verhalten. Das grüne Bouteillen-Glas und auch das
s sind wegen ihres Eisengehaltes magnetisch, unge-
eine Glasmasse schwach diamagnetisch ist. Ueberhaupt

herrscht die gewöhnliche Magnetkraft fast in allen Verbin der magnetischen Metalle mit nicht magnetischen Körpe Dagegen erhielt Faraday in keiner Verbindung diamagn Metalle unter einander oder mit nicht metallischen Stoffen a die geringste Anzeige der gewöhnlichen Magnetkraft.

Durch Temperaturerhöhung wird bekanntlich die Fähig Eisens, Nickels und Kobalts vom Magnete angezogen zu vermindert. Faraday fand jedoch keinen Körper, der schieden magnetischer Beschaffenheit, durch Temperature diese Eigenschaft ganz und gar verlor; eben so wenig ko gend ein diamagnetischer durch Erniedrigung der Temperat netisch gemacht werden.

Wurde ein kleiner Würfel von Wismuth oder Flintglas zw beiden Polen eines hufeisenförmigen Electromagnets und z nau in der Mitte der geraden Verbindungslinie beider Pol hängt, so zeigte sich weder beim Schliessen noch beim der electrischen Kette irgend eine Einwirkung. Näherte r aber mehr dem einen oder andern Pole, so zeigte sich die sung von dieser Seite her in demselben Augenblicke, da d geschlossen wurde. Sie hielt an, so lange als der Magnet tigkeit blieb. Befand sich der aufgehängte Körper etwas oder links von der Verbindungslinie, so wurde er durch die zeitig von beiden Polen ausgehende Abstossung in de Richtung noch weiter entfernt. Hing man zwei Würfel pen neben einander, den einen rechts, den andern links von d bindungslinie, so entfernten sich beide von einander, so w die Kette schloss, ganz so als ob sie sich wechselseitig ab sen hätten. Stellte man beide Würfel genau in die Verbi linie der Pole, den einen näher dem positiven, den ander dem negativen Pole, so hatte es ganz den Anschein, als sich wechselseitig anzögen. Die folgenden Erscheinunge ren sich leicht aus den soeben betrachteten. Wenn ein Kör dem die Längendimension vorherrscht, in der Mitte zwisch den Polen des Electromagnets so aufgehängt wird, dass de die Verbindungslinie der Pole durchschneidet, so wird er nachdem er der Klasse der magnetischen oder derjenigen magnetischen Stoffe angehört, längs der Verbindungslinie ten, oder eine Stellung winkelrecht gegen diese Richtun nehmen streben. Welches Ende des Körpers sich nach d oder andern Seite kehren werde, hängt nur von dem zu Umstande seiner anfänglichen Stellung ab. Dieses Verh das Resultat des Bestrebens der dem Einflusse der Mag unterworfenen Theilchen, sich in die Lage zu begeben, cher ihr Drehungsmoment Null wird. Es ist hinsichtlich d netischen Körper ganz analog dem eines Stabes von w Eisen, der zwischen beiden Polen aufgehängt wird. Nur d

rke womit ein Stab oder ein längliches Stück aus irgend ndern magnetischen Materie Richtung nimmt, macht einen chied. Es werde z. B. ein Rohr aus dünnem Glase und wie

Fig 210.

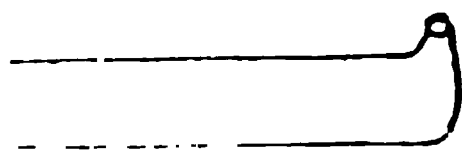


Fig. 210 gestaltet mit einer Auflösung von schwefelsaurem Eisen oder schwefelsaurem Mangan gefüllt und mittelst eines Papierbügels auf die beschriebene Weise aufgehängt. Gesetzt die Länıtung des Rohrs bilde anfangs mit der Verbindungslinie der gend einen spitzen Winkel. Man schliesse die Kette, sowird sich das Rohr in Bewegung setzen und nach einigen ıgungen sich in die Verbindungslinie stellen. Entfernt man dieser Stellung, so kehrt es wieder in dieselbe zurück. — man statt einer der genannten Lösungen reines Wasser ne Auflösung von Kupfer oder Silber oder irgend eines anamagnetischen Metalls in das Rohr, so stellt es sich winıt gegen die Verbindungslinie., Eben so würde sich ein en von Wismuth oder Antimon oder Flintglas u. s. w. das den Papierbügel schiebt, verhalten.

isst man einen Körper von geringer magnetischer Kraft in Mittel schwingen das stärker magnetisch ist, z. B. einen ı Stab von Platin oder eisenhaltigem Glas, oder auch eine nte Lösung von Eisenvitriol in einer sehr viel concentrirlerselben Verbindung, so richtet sich der schwächer magne-Körper winkelrecht gegen die Magnetaxe oder äquatorial, enn er diamagnetisch wäre; er wird nämlich aus der Stelırallel mit der Axe, der axialen Stellung verdrängt, weil bergewicht der magnetischen Wirksamkeit gegen seine ung gerichtet ist. Da nun auch die Gase dem magnetischen se gehorchen, so lässt sich die wahre magnetische Natur Körpers mit Sicherheit nur im leeren Raume erkennen.

m das Verhalten eines gasförmigen Körpers zu beobachten, man Seifenblasen damit bilden. Man wird dann finden, ine mit Sauerstoff gefüllte Blase angezogen, eine mit rstoff, Stickstoff, Kohlensäure oder irgend einem anderen ausser Sauerstoff und Luft gefüllte abgestossen wird, wähine Luftblase sich ganz neutral verhält. In einer Atmosvon Wasserstoff würde aber auch die Luftblase, wegen ihres toffgehaltes angezogen werden.

Fig. 211.



Auf dem folgenden von Faraday eingeschlagenen Wege lässt sich das Verhalten der Gase unabhängig von der sie umschliessenden Hülle vergleichen. Ein leichtes Stäbchen *ab* (Fig. 211) ist bei *o* an einem langen Seidenfaden aufgehängt, um welchen sich die

beiden Arme *ob* und *oa* in wagerechter Lage im Gleichgewichte halten. Am einen Ende *a* dieses Wagebalkens sitzt ein Querstück *de* an dessen Endpuncten cylindrische Röhren aus demselben dünnen Glase gebildet herabhängen. Diese Röhren können nach Befinden mit demselben oder auch mit verschiedenen Gasen gefüllt werden. Gesetzt beide sind äquatorial zu den Polen des Electromagnets gestellt, die eine rechts, die andere links von der Magnetaxe. Beide enthalten Sauerstoff von gleicher Temperatur und Dichtigkeit, so zeigt sich nicht die geringste Einwirkung. Ist aber das Gas in dem einen Rohr dichter als in dem andern, so wird das dichtere angezogen, das andere fortgetrieben. Ist das eine luftleer oder mit Stickstoff oder Wasserstoff gefüllt, während das andere Sauerstoff enthält, so wird das letztere gegen die Magnetaxe gezogen, das andere fortgetrieben.

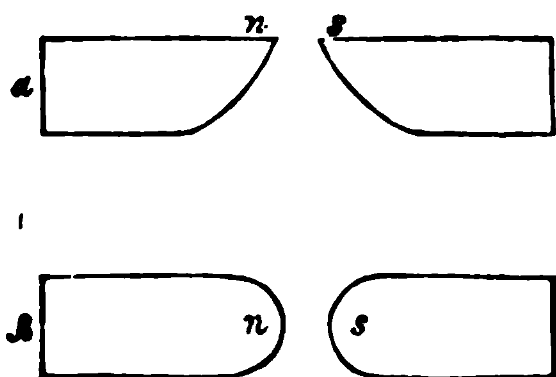
Das Gelingen dieser Versuche erheischt sehr kräftige Electromagnete, auf deren Pole konisch zugespitzte Ansätze von weichem Eisen ruhen, die mit den Spitzen zusammenstossen, ohngefähr so wie Fig. 212 andeutet. Auf der Seite hängt dann das eine Glasrohr, bei *b* das andere herab.

Fig. 212.



Die Schwingungsversuche erfordern sehr dicke Ansätze ungefähr von der Form wie Figur 213, *a* in der Seitenansicht, *b* von oben zeigt (sogenannte Halbkugelstücker), welche auf die Magnetpole gelegt werden, und deren Spitzen *n* und *s* einander um so näher gerückt werden müssen, je unempfindlicher gegen die magnetische Einwirkung der zwischen gebrachte Körper sich zeigt.

Fig. 213.



Der Diamagnetismus gasförmiger Körper wird durch Temperaturhöhung gesteigert. Hierauf beruht ein sehr merkwürdiges Verhalten der Flammen zwischen den einander sehr nahe gerückten Polspitzen *n* und *s*. Bringt man z. B. eine gewöhnliche Kerzenflamme nahe unter die beiden Polenden, so dass sie zwischen beiden frei aufsteigen kann, so wird sie sich in demselben Augenblicke, da man die Kette schliesst in zwei Aeste spalten, von welchen der eine rechts der andere links von der Verbindungslinie der Polspitzen sich erhebt. Dabei verschwindet der Eindruck der Hitze zwischen beiden Aesten so vollkommen, dass Phosphor nicht mehr entzündet wird, Wachs nicht schmilzt. Dies geschieht jedoch sogleich, so wie man die Kette unterbricht und die Flamme ihre frühere Gestalt wieder annimmt. Wird in ähnlicher Weise wie vorher die Flamme, ein glimmendes Rauchkerzchen unter die Polenden gestellt, so theilt sich der aufsteigende Rauch alsbald in zwei Säulen, die eine rechts, die andere links von der Magnetaxe

Die magnetische gleich wie die diamagnetische Richtkraft sert sich bei der Mehrzahl der Körper nur als ein sehr kleiner chtheil von derjenigen Kraft, welche sich in Eisen, Nickel und alt entwickeln lässt. Bei solchen Körpern die nach verschie- en Richtungen eine ungleiche Dichtigkeit besitzen, sei es i natürlichen Vorkommen oder durch Zusammendrückung, ist Richtkraft, wie Knoblauch und Tyndall bewiesen haben, inne der grösseren Dichtigkeit vorherrschend, in dem Grade, diese Richtung, auch wenn sie nicht mit derjenigen der sten Länge zusammenfällt, gleichwohl bei magnetischen Kör- vorzugsweise axial, bei diamagnetischen vorzugsweise torial gestellt wird. Hieraus erklärt sich eine sehr eigenthüm- , zuerst von Plücker beobachtete Erscheinung der einaxi- und zweiaxigen Krystalle, deren Theilchen bekanntlich in der tung, gleichlaufend mit der Axe einander näher stehen, als jeder andern Richtung. Die einaxigen Krystalle zeigen näm- eine vorherrschende Richtkraft parallel mit ihrer Axe, die iaxigen aber, nach der Mittellinie zwischen ihren beiden Axen. ker hat darauf aufmerksam gemacht, dass man durch dieses alten in den Stand gesetzt ist, an völlig undurchsichtigen Kry- n, selbst wenn ihre äussere Form völlig verwischt ist, die der Axe zu bestimmen.

Die Bemühungen der Physiker den inneren Zusammenhang liamagnetischen mit den magnetischen Erscheinungen aufzu- n, haben bis jetzt zu keinem befriedigenden Resultate ge- . Selbst hinsichtlich der Frage, ob diamagnetische Körper ch den magnetischen, die Fähigkeit besitzen, Polarität anzu- en, herrschen noch Zweifel. Den Fall angenommen, dass sie ehen den Magnetpolen ebenfalls polarisch werden, so würde s folgen müssen, dass, während magnetische Körper an dem Magnetpol zunächst liegenden Ende einen ungleichnamigen erhalten, in diamagnetischen Körpern unter denselben Um- len ein gleichnamiger Pol hervorgerufen werde.

IX. Von den Wasserwellen.

470. Wenn der Spiegel eines Wasserbeckens an irgend einem te erschüttert wird, z. B. durch Hineinwerfen eines Steins, uchen des Fingers, oder indem man einen Theil des Was- mittelst eines weiten Glasrohrs aufsaugt und wieder zurück- n lässt, so pflanzt sich diese Störung ringsum über die ganze fläche fort.

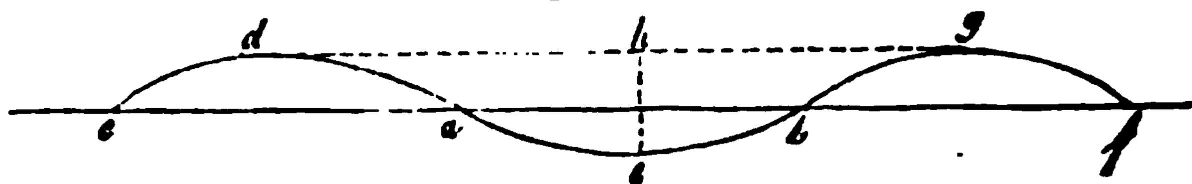
Man bemerkt zunächst über der erschütterten Stelle als Mittel- t eine ringförmige Erhebung und gleich darauf eine ringför-

mige Vertiefung, die beide in concentrischen, also immer grösser werdenden Kreisen fortschreiten. Diese Erscheinung wiederholt sich mehrmals in unmittelbarer Folge, aber mit abnehmender Stärke von der Erzeugungsstelle aus. Endlich tritt an diesem Punkte Ruhe und Ebenheit des Wassers ein und diese Ebene vergrössert sich mehr und mehr, indem sie gleichsam der letzten zirkelförmigen, wallartigen Erhebung nachrückt.

Jede solche Erhebung des Wassers nennt man einen Wellenberg, die darauf folgende Vertiefung, ein Wellenthal. Beide zusammen bilden eine Welle.

Die Figur 214 zeigt einen Durchschnitt der fortschreitenden Welle, radial von der Erzeugungsstelle aus. Die Linie *cabf* be-

Fig. 214.



zeichnet die Höhe des Wasserspiegels, über welchem sich der Wellenberg *cda* um eben so viel erhebt, als sich das Wellenthal *aeb* darunter senkt. Die Summe der Erhebung und Senkung, die Linie *he*, nennt man die Höhe der Welle, die Entfernung *cb* ihre Breite, zuweilen auch ihre Länge. Gewöhnlich versteht man bei den Wasserwellen unter Länge, die Ausdehnung rechtwinklig auf die Breite, solcher nebeneinander liegender Theilchen, die sich mit gleicher Geschwindigkeit zu bewegen scheinen. Die Länge in diesem Sinne genommen, kann eine gerade oder gebogene Linie sein. Es ist klar, dass bei ringförmigen Wellen, die von einem gemeinschaftlichen Centrum ausgehen, die Länge (für den Kreisumfang) sich fortwährend vergrössert. Zugleich nimmt aber auch ihre Breite zu und die Höhe vermindert sich, so dass auf unbegränzter, übrigens ruhender Wasserfläche die fortschreitenden Wellen endlich dem Auge unmerklich werden.

Verführt durch den ersten Anblick der Erscheinung möchte man glauben, dass die Welle über die Fläche des Wassers hingleite. Man erkennt jedoch den Irrthum leicht aus dem Umstande, dass schwimmende Körper von der fortschreitenden Welle nicht mitgerissen werden, sondern ohne wesentlich fortzurücken, sich nur auf und nieder bewegen. Der Charakter der Welle besteht aber eben so wenig in einem wiederholten senkrechten Aufsteigen und Niedersinken derselben Wassertheile, welches voraussetzen würde, dass Berg und Thal sich immer an derselben Stelle wieder erzeugen müssten. Es findet vielmehr ein stetiges Fortrücken des Gipfels des Berges wie der Tiefe des Thales statt, durch die Puncte einer geraden Linie, die man in der Richtung der Breite gezogen denkt; zu vergleichen etwa der fortrückenden Bewegung eines über eine wagerechte Fläche ausgebreiteten Tuches

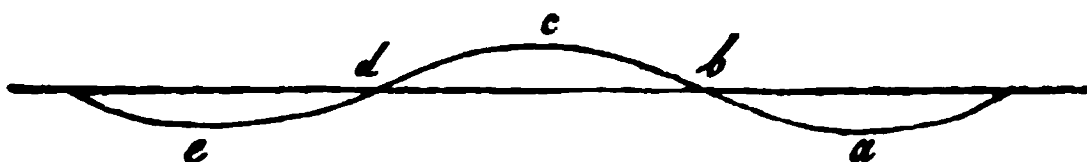
…r welchem eine Walze vorwärts gerollt wird. Gerade so wie Biegung des Tuchs ist auch **der vordere Theil des fortkenden Wellenbergs im Steigen, der hintere Theil Sinken begriffen.**

Sehr deutlich lässt sich die Natur der Welle mit Hülfe eines langen, schmaehälters (Fig. 1. Pl V.) erkennen, dessen Seitenwände aus Glasplatten ge- ; sind. Die Länge desselben beträgt 5 — 6 Par. Fuss, die Tiefe 8 — 10 die Breite nur 6 — 7 Linien. Boden und Seiten sind von Holz, in welches lasscheiben dicht eingefugt werden müssen, damit kein Wasser durchgeann. Ein solches Behälter wird W e l l e n r i n n e genannt.

lan fülle die Wellenrinne zu $\frac{3}{4}$ ihrer Höhe mit Wasser an, ziehe mittelst Glasrohrs. dessen Weite der des Behälters gleich kommt, am Ende des ren, eine Wassersäule hervor und lasse sie, wenn der Spiegel wieder geworden ist, plötzlich herabsinken. Man sieht dann die erregte Welle im r e c h t e n D u r c h s c h n i t t e; man erkennt auf den ersten Blick, dass die ›x gebogene Oberfläche des Wellenbergs so wie die concave des Wellen- ohne einen in die Augen fallenden Gränzpunct in einander übergehen; kann ohne grosse Mühe das Fortschreiten des Gipfels der ganzen Rinne ıg, das Anprallen am andern Ende, den Rücklauf der Welle, ihre Breite ·ie das Steigen über und Sinken unter die ursprüngliche Wasserhöhe chten.

ıenkt man eine Schiefertafel in das Wasser, so dass ein darauf angeıter gerader Strich eben die ruhende Wasserfläche berührt und erregt dann Welle, so zeigt der benetzte Theil der Tafel über dem Striche, die Höhe Vellenberges. Dieser benetzte Theil hat aber nicht etwa die gebogene Geder Welle, sondern seine obere Begränzung ist eine gerade wagerechte . Hieraus ergibt sich nun aufs deutlichste, dass der Wellenberg in stetiortbewegung längs der ganzen Tafel vorübergegangen ist. Sein Vorder-

Fig. 215.



abc (Fig. 215) muss folglich während des Fortschreitens der Welle ıuernd im Aufsteigen, sein Hintertheil *cde* im Niedersinken begriffen

Durch den Druck dieses niedersinkenden Theils wird nicht nur das Erheben ortschreiten des Vordertheils bedingt, sondern auch im glatten Wasser der Welle stets eine neue Welle erzeugt, die dann wie die erstere fortitet und wieder andere Wellen hinter sich bildet, deren Grösse jedoch und mehr abnimmt. So kommt es, dass einer erregten Welle immer Reihe anderer nachfolgen, bevor die Wasserfläche sich wieder ganz it.

471. Wir haben bis jetzt nur das Auftreten der Welle an der fläche des Wassers betrachtet. Die Wellenbildung ist jedoch Erscheinung, die sehr tief und vielleicht in allen Fällen bis len Grund der Wasserbehälter eindringt. Wenn man ein an en Glaswänden anschliessendes Brettstück, an beliebiger b der Wellenrinne senkrecht und nach und nach zu verschieen Tiefen unter den Wasserspiegel einschiebt, dann an einem der Rinne eine Welle erregt, so wird sich dieselbe trotz der

Unterbrechung bis zum andern Ende fortpflanzen, wiew abnehmender Stärke, je tiefer das Brettstück eingeschob den. Senkt man offene Glasröhren an verschiedenen Ste Rinne ein, so hebt sich das Wasser in denselben während überschreitens der Welle.

Blickt man durch die Glaswände und das Wasser l gegen das Licht, so bemerkt man schon mit blossen Auge deutlicher mit der Loupe, im Augenblicke der Wellenbildı (unter der Voraussetzung gleich grosser Wellen) imme selben Weise wiederkehrende drehende Bewegung der im schwebenden Staubtheilchen. Diese Bewegungen gehen senkrechten Ebenen vor sich. Es sind Curven von ans ellyptischer Gestalt, die in sich selbst zurückkehren, w unter einander verbundenen Wellenberge nnd Wellenthäl oder fast gleich gestaltet sind, dagegen nicht wieder in si zurücklaufen, wenn die aufeinander folgenden Wellen gleicher Grösse sind. Bei bedeutender Tiefe des Wasse sind die geschlossenen Schwingungsbahnen der Theilc nächst der Oberfläche fast Kreise; tiefer abwärts vermin aber der senkrechte Durchmesser mehr und mehr gegen gerechten und in der Nähe des Grundes zeigt sich nur n wagerechte Hin- und Herbewegung Aber auch der S dieses wagerechten Theils der Bewegung nimmt von ob unten allmählig ab.

Jede Erschütterung an der Oberfläche, durch welc Welle entsteht, pflanzt sich mit so grosser Geschwindigke Tiefe fort, dass die schwingenden Bewegungen in allen s unter einander liegenden Flüssigkeitstheilchen, so tief Behälter sein mag, für die sinnliche Wahrnehmung gleichz ginnen. In der wagerechten Richtung dagegen pflanzen auf die vor einander liegenden Theilchen nach und nach zwar in demselben Sinne und mit derselben Geschwindigk die Welle selbst fortschreitet. Dabei gerathen die wage der Richtung der fortschreitenden Welle hintereinander li Theilchen in der Art *successiv* in schwingende Be dass sich niemals mehrere derselben, die zu einer Welle gleichzeitig in *entsprechenden* Puncten ihre Schwi bahnen befinden, sondern nur folgeweise in diese entspre Lagen einrücken.

Diese schwingenden Bewegungen, bewirkt durch die senkrecht aufwärts und niederwärts gehenden Bewegu wendig zusammenhängenden seitlichen Verschiebung d sertheile bilden eigentlich die Wellen. Was wir gewöh nennen ist nichts anderes als die Gestalt, welche die Ob des Wassers in Folge der Rotation der darunter befindlich sertheile annehmen muss.

Die besten Untersuchungen über den Zusammenhang der äusseren Erschei- der Wasserwellen mit den schwingenden Bewegungen der Wassertheil- verdankt man den Brüdern Wilhelm und Heinrich Ernst Weber, eren grösserem Werke: Wellenlehre auf Experimente gegrün- die vorliegende Darstellung geschöpft ist.

)ie Fig. 2 Pl. V. gibt ein anschauliches Bild des Vorgangs im Innern der igkeit. Die Linie *ABCDEF*, bezeichnet die Gestalt der Welle an der Ober- :. Die punctirten Kreise *A*, *B*, *C*, *D* u. s. w. stellen die Schwingungsbah- er gleichnamigen Theilchen an der Oberfläche vor, die Pfeile die Rich- n der gleichzeitigen Bewegungen der obersten sowohl wie der tiefer iden Theilchen Wenn die Wassertheilchen gleichzeitig die durch die Pfeile leuteten Wegesstrecken beschrieben haben, ist der Gipfel des Wellenbergs) nach *e* fortgerückt.

lus der Richtung der Bewegung eines jeden Theilchens in seiner Bahn, die em Vordertheile der Welle allemal aus einer wagerechten und aufsteigen- bei dem Hintertheile aus einer wagerechten und senkrecht niedergehenden amengesetzt ist, ersieht man leicht, warum der Vordertheil einer jeden : im Steigen, der Hintertheil im Sinken begriffen ist.

Die senkrechte Höhe der Schwingungsbahn der an der Ober- ıe des Wassers befindlichen Theilchen gibt die Höhe der 'e. In der Zeit, in welcher ein Theilchen eine halbe Schwin- g vollendet, erhebt es sich vom tiefsten bis zum höchsten de oder umgekehrt. Die ganze Schwingungszeit entspricht ich der Zeit des Fortrückens der Welle um eine Wellenbreite. Gebrüder Weber bemerkten, dass die schwingenden Bewe- gen derselben Theilchen sich mehrmals wiederholten ohne nder zu hindern. Hierdurch begreift sich die rasche Hinter- nderfolge mehrerer Wellen an derselben Stelle und das chmässige Fortschreiten derselben immer in demselben ie.

Es gelang die Zeit zu messen, während deren Verlauf eine isse Anzahl, z. B. 3 oder 4 Schwingungen desselben Theil- ıs vollendet wurden, und hieraus liess sich dann wieder die le der Welle ableiten. Denn diese wird gefunden, indem man während einer bestimmten Zeit durch die Welle zurückgeleg- Weg durch die Anzahl Schwingungen dividirt, welche ein flüs- s Theilchen in derselben Zeit vollendete.

Die Breite der Wellen in der Rinne vergrössert sich allmählig Unkosten ihrer Höhe, jedoch ohne dass die Geschwindig- des Fortschreitens sich ändert. Man darf hieraus schliessen, dass ı die bewegende Kraft unverändert bleibt, und dass sich die- e wie die Grösse der Welle, nämlich wie das Gewicht des ' die spiegelnde Oberfläche gehobenen Wassers verhält. Die hwindigkeit der Wellen ist hiernach zugleich von ihrer Breite Höhe abhängig.

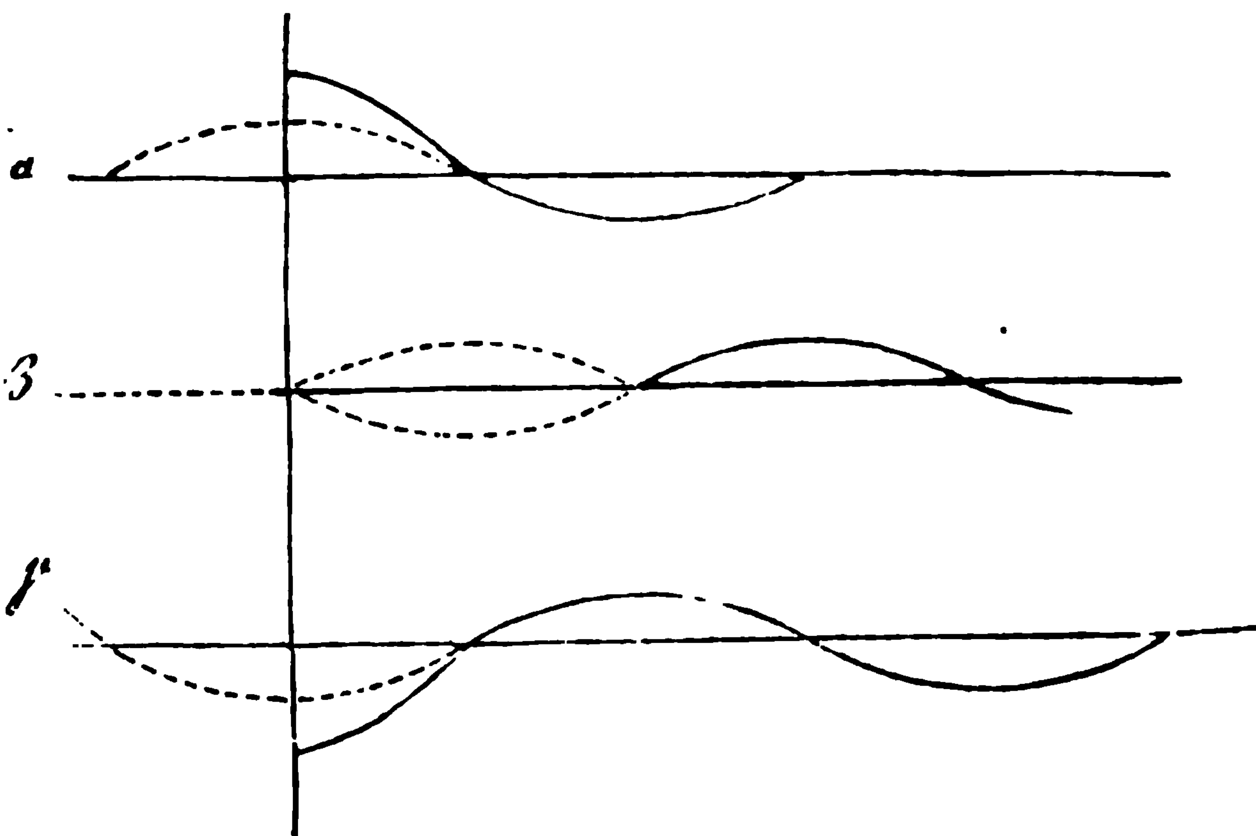
Im freien Wasser nimmt die Welle, während sie sich von der ugungsstelle ausbreitet, an Breite aber auch an Länge zu, m sich zugleich die Höhe bedeutend verringert. Die bewe- le Kraft in gleich langen Wellenstücken muss dadurch allmäh-

lig abnehmen und mit ihr die Geschwindigkeit der mehr und mehr sich ausbreitenden Welle. Einen anderen Aufenthalt erfährt die Welle durch den Widerstand des Bodens. Sie pflanzt sich daher in tiefem Wasser mit grösserer Schnelligkeit fort als in weniger tiefem. Das specifische Gewicht einer Flüssigkeit ist ohne Einfluss auf die Beschaffenheit der darin erzeugten Welle, aus demselben Grunde aus welchem die Ausflussgeschwindigkeit durch enge Oeffnungen davon unabhängig ist.

472. Wenn eine Welle das Ende des Behälters erreicht hat, verlieren die schwingenden Flüssigkeitstheilchen durch das Anprallen an der Wandfläche den wagerechten Theil ihrer Bewegung und erheben oder senken sich zu Folge des ihnen bleibenden senkrechten Theils. Die senkrecht aufsteigenden Flüssigkeitstheilchen, indem sie wieder niedersinken. oder die senkrecht niedergehenden, indem sie wied r aufsteigen, geben Veranlassung zur Bildung einer neuen Welle, die ganz so wie die frühere, nur im entgegengesetzten Sinne fortschreitet. Diess ist die zurückgeworfene Welle.

Der anprallende Wellenberg (Fig. 216 α), weil er im Augenblicke, da sein Gipfel die Wand erreicht hat, sich um die ganze

Fig. 216.



frühere Breite seines Vordertheils verkürzen musste, während doch die bewegende Kraft sich nicht geändert hat, erhebt sich bis zu der doppelten Höhe der frei fortschreitenden Welle. Aus dem gleichen Grunde senkt sich das anprallende Thal tiefer ein (γ). Der Wellenberg beginnt indess schon zurückzuschreiten, bevor das ihm folgende Thal die Wand erreichen konnte, und sein hinterer Fusspunct verlässt die Wand in eben dem Augenblicke, wo der vorderste Punct des Thals an derselben ankommt. Berg und

ıl, die zusammen eine Welle ausmachen, gehen also während Zurückwerfung durch einander durch, dergestalt, dass letzteeinen Augenblick durch ersteren ausgefüllt wird und das sser um die halbe Wellenbreite geebnet erscheint. (Fig. 216 β) der Wandfläche zunächst liegenden Theile setzen aber als-l die allen gemeinschaftliche niedergehende Bewegung fort, entfernteren fahren fort aufzusteigen; bald ist die Welle wievollständig und zwar in derselben Ordnung wie früher ent-:kelt. D. h. dieselbe Wellenhälfte (Berg oder Thal), welche ıer voranging, ist auch wieder bei dem Rücklaufe voran.

Wenn die zurückgeworfene Welle mit einer später erzeugten, das Ende der Rinne noch nicht erreicht hatte, zusammentrifft, heben sich die wagerechten Bewegungen der schwingenden :ilchen wechselseitig ganz oder theilweise auf, die senkrechten :den verstärkt. Jede Welle dient gleichsam der andern als ndfläche; die zusammentreffenden Wellenberge verstärken sich er und erreichen, wenn beide Wellen von gleicher Grösse wa-, jetzt bei unveränderter Breite fasst die doppelte Höhe; die ammentreffenden Wellenthäler bilden in gleicher Weise eine hältnissmässig vermehrte Einsenkung. Wenn aber der Wellen-g der einen Welle mit dem Thal der andern zusammentrifft, d auf einen Augenblick die glatte Wasserfläche ganz oder h theilweise wieder hergestellt. Unmittelbar darauf geht dann Wellenbewegung nach beiden Seiten fort, wie wenn keine von den Wellen die andere gestört hätte.

Auch in grösseren Wasserbehältern bemerkt man, dass ver-iedene Wellen zusammentreffen, oder einander durchkreuzen ınen, ohne sich in ihrer Bewegung im Allgemeinen zu stören. :r immer findet man dann, dass im Augenblicke der Durch-uzung, an den Durchkreuzungsstellen selbst ein wechselsei-s Verstärken oder Aufheben eintritt. — Wellen von nahe glei-r Grösse und also auch gleicher Fortpflanzungsgeschwindig-t, die von ganz nahe liegenden Puncten ausgehend, sich nach selben oder nach wenig verschiedener Richtung fortpflanzen, einigen sich daher, indem sie zusammentreffen, stellenweise grösseren Wellenstücken, die dann als eine einzige grössere lle fortschreiten, während an anderen Stellen, wo der erhöhte il der einen mit dem vertieften der andern zusammenfällt, und die Schwingungen ihrer Theilchen sich in den Zeitpuncten gegengesetzter Bewegung begegnen, sie sich wechselseitig nichten.

Wenn Wellen von gleicher Grösse von beiden Enden der llenrinne, je zu bestimmten Zeitabschnitten so zurückgeworfen rden, dass gleichartige Theile derselben einander immer an selben Puncten begegnen, so heben sich überall die wage-hten Bewegungen der schwingenden Flüssigkeitstheile auf und

die Wellenbewegung verwandelt sich in ein senkrechtes Niedersteigen der flüssigen Theile, das sich mittelst d sehr gut beobachten lässt. Diess sind die von den G Weber entdeckten stehenden Wasserwellen. Si scheiden sich von den fortschreitenden Wellen wesen durch, dass bei diesen letzteren der Vordertheil eines W ges immer im Steigen, der Hintertheil immer im Sinken ist, während bei den stehenden Wellen alle Theile d Wellenberges gleichzeitig niedersinken, alle Theile d Wellenthales sich gleichzeitig erheben. Dabei erscheint fläche der Flüssigkeit in regelmässige Abtheilungen geth denen die benachbarten immer in entgegengesetzten Ri isochronisch schwingen, während die Uebergangspu einer Abtheilung zur andern ganz in Ruhe bleiben.

In Figur 3 und 4, Pl. V., erblickt man zwei Beispiele stehen Um dieselben in der Wellenrinne hervorzubringen, wird ein langes Brettstück, am einen Ende der Rinne auf dem Boden eingesetzt un seine unterste Kante, nach einem gewissen Takte hin und her beweg der Schnelligkeit dieses Taktes entsteht nur eine einzige stehende es bilden sich deren zwei oder drei oder noch mehrere.

Die älteren Naturforscher hielten die Wellen im freien Wasser fi stehenden Wellen ähnliche Erscheinung. Diese Ansicht ist jedoch du perimentellen Untersuchungen der Gebrüder Weber aufs bestimmt legt worden.

473. Die gewöhnliche Ursache der Wellenbildung i ist der Wind. Der Stoss des Windes erzeugt aber nicht nu sondern trägt auch noch zu ihrer weiteren Verstärkung b die in der Richtung des Windes fortschreitende Welle niedergehenden hinteren Theile durch die Einwirkung de nur um so stärker niedergedrückt, folglich das Erheben dem Winde geschützten Vordertheils befördert und Gleichwohl können nur solche Wellen, die sehr weit forts und dabei immer vom Winde verstärkt werden, eine aus nete Grösse erreichen. Grosse horizontale Ausdehnung serfläche bei hinreichend grosser Tiefe, um die freie Ent der Welle nicht stören zu können, ist daher eine nothwen dingung zur Hervorbringung jener mächtigen Meere zwischen welchen oft ein Schiff vor dem Blick des and schwindet.

Im Ocean sollen die Wellen durch die Heftigkeit de und indem mehrere zusammentreffen, zuweilen die H 60 Fuss erreichen. In kleineren Meeren, wie in der Ostse Mittelmeer entstehen niemals so hohe Wellen. Die gew Höhe einer einfachen Welle übersteigt nicht 6 Fuss.

Wenn eine im tiefen Wasser entwickelte Welle von licher Grösse, während ihres Laufes auf seichtere Stellen so wird ihre Bewegung verlangsamt, ihre Breite nimmt

nimmt zu (ähnlich wie bei dem Anprallen an einer Wand-
e und auch aus demselben Grunde) und sie kann dadurch
rer vorderen Seite so steil werden, dass sie sich endlich
mehr erhalten kann und überstürzt. Man sagt dann: sie
det.

)ie Erscheinung der Ebbe und Fluth ist nichts anders, als
grossartige Wellenbewegung, erzeugt durch die periodisch
selnde Stärke der Anziehung, welche Mond und Sonne auf
Vasser der grossen Oceane, und zwar hauptsächlich des stil-
eeres äussern.

Von der Elasticität und der Wellenbewegung in elastischen Körpern.

174. Elasticität nennt man das Bestreben der Körper in ihre
äussere Einwirkungen irgend wie veränderte Gestalt
Grösse zurückzutreten, so wie diese äusseren Einwirkungen
assen (36).

)iese Eigenschaft, überall wo sie sich findet, beweist das
hen eines Gleichgewichtszustandes zwischen den Molekular-
m, (nämlich der Molekularanziehung und Molekularabstos-
) so lange ein Körper in seinem natürlichen, von äusseren
irkungen unabhängigen Zustande verweilt. D. h. wie hart
fest ein Körper sein mag, so ist dennoch die Kraft, welche
der Trennung seiner Theile widersetzt, beim Beginne des
ren Eindrucks Null; sie entwickelt sich erst, indem die Ab-
e der Theilchen sich verändern und gewinnt innerhalb ge-
er Gränzen ein um so grösseres Moment, je weiter die Theil-
aus ihrer ursprünglichen Lage verrückt werden. Diese wer-
laher, nach dem Aufhören des störenden Einflusses, ähnlich
aus seiner Ruhelage gebrachten Pendel, mit beschleunigter
gung in ihre natürliche Gleichgewichtslage zurückgetrieben,
chen dieselbe in dem Augenblicke, da die treibende Kraft
wieder Null, die Geschwindigkeit aber ein Grösstes gewor-
st, und müssen sie folglich von Neuem, jetzt aber im entge-
esetzten Sinne verlassen. So kommt es, dass die Erschei-
der Rückkehr elastischer Theile in die Ruhelage stets von
Reihe, mehr oder weniger in die Augen fallender Schwin-
en begleitet ist.

Alle festen Körper, jeder innerhalb gewisser Gränzen, sind
isch. In besonders auffallender Weise zeigen diese Eigen-
ften: Federn von gehärtetem Stahl, dünne Streifen und Fäden

gen, sie besitzen also Elasticität nur im Sinne de
sion.

Es gibt im Allgemeinen vier Arten, die Elasti
Körpers in Anspruch zu nehmen, nämlich: Dehnen o
ken (Ausziehen nach der Längenrichtung), Zusam
ken, Biegen und Drehen.

475. Die grösste dehnende Kraft, welche sich anw
ohne dass ein fester Körper sein Vermögen auf die früh
sionen zurückzukommen, verliert, ist das, was se
lute Stärke oder absolute Festigkeit aus
Verlängerung, welche eine Stange oder ein Faden
gleichem Querschnitte durch dieses Kraftmaximum e
woraus hervorgeht, um wie viel derselbe ohne bleiben
zu werden, sich ausziehen lässt, wird seine Ela
gränze genannt. Innerhalb dieser Gränze ist ein K
kommen elastisch und sein Widerstand, d. i. seine el
Kraft ist der dehnenden oder spannenden Kraft gleich
gleichmässig mit derselben. Seine durch Dehnung
ten Verlängerungen verhalten sich inner
Elasticitätsgränze wie die spannenden Kräft
vesande in Biot traité I. 470.)

Versucht man aber einen Körper noch weiter z
so wird er entweder zerrissen, oder er erfährt eine
bleibende Verlängerung in der Richtung der Zugkraft.

Viele Körper, besonders unter denjenigen Metalle
sehr merkliche bleibende Ausstreckung gestatten, w
z. B. Schmieden, Hämmern oder Walzen lassen, wie
Stahl, erleiden, wenn sie zuvor noch gar nicht gede

:n Veränderungen im inneren Zustande des Stof-
ganz unverändert und den angehängten Gewich-
proportional. (Gerstners Mechanik B. 1. S. 259; Pogg.
. Ergänz. II. S. 19.)

Stäbe und Schienen von Eisen oder Stahl, an welchen schwere Lasten an-
ıgt, welche z. B. beim Brückenbau verwendet werden sollen, müssen aus
m Grunde vor ihrer Verwendung auf die grösste Spannung, welche sie in
'olge auszuhalten haben, geprüft werden. Eine Kettenbrücke von nicht
iften Eisenstäben ausgeführt, würde bald eine bleibende Senkung anneh-
müssen.

Aus demselben Grunde wird die Elasticität geschmeidiger Metalle, wie des
s, Stahls, Kupfers, Messings, Silbers, Platins u. s. w. durch Hämmern, Wal-
nd insbesondere durch das Drahtziehen ungemein erweitert. Dieser Zu-
gesteigerter Elasticität geht aber wieder verloren, wenn Metalldrähte
dem Ziehen stark ausgeglüht werden. Häufig verliert er sich auch schon
ı blosse Erschütterung; so wie durch eine Summe von kleinen Einwir-
en im Laufe der Zeit. Geschmeidige Metalle werden durch das Drahtziehen
le, um so mehr, je mehr sich ihre Elasticitätsgränze erweitert.

Bei sehr spröden Körpern, wie beim Glase, ist die Gränze der Spannung,
ı welcher sie vollkommen elastisch sind, unveränderlich und sie zerreis-
o wie diese Gränze überschritten wird.

Manche Stoffe, zumal aus dem Thier- und Pflanzenreiche, wie
, Gummi-Elasticum, Darmsaiten u. s. w. besitzen die Eigen-
ıft, die stärkste elastische Dehnung, die sie in Folge einer
ınung von gegebener Grösse überhaupt erleiden können, nicht
eich sondern nur nach und nach, öfters erst nach mehreren
en einer gleichförmig fortdauernden Einwirkung anzunehmen
eben so auch, nach Abnahme der Belastung, nur allmählig zu
anfänglichen Länge zurückkehren. W. Weber nennt dieses
ıalten, das er zuerst bei der Seide beobachtet und genau unter-
ıt hat, elastische Nachwirkung. Dieselbe unterscheidet
von der ziemlich beträchtlichen bleibenden Dehnung eines vor-
noch ungespannten Seidenfadens wesentlich dadurch, dass sie
s, sowohl nach vermehrter wie nach verminderter Spannung
ritt und zwar immer in derselben Weise, so oft man auch
Versuch wiederholen mag. (Pogg. Ann. B. 34. S. 247;
4. S. 1.)

476. Die Last, welche ein prismatischer oder cylindrischer
ı tragen kann, ohne zu zerreissen, verhält sich wie die Grösse
ıes Querschnittes und ist unabhängig von seiner Länge. Theo-
ısch ist kein Grund vorhanden, warum eine Stelle eines solchen
bes leichter als eine andere reissen sollte. Geschieht es gleich-
hl, so ist es nur eine Folge mangelnder Gleichartigkeit. Bei
kommener Gleichartigkeit des Stoffes müssten in dem Augen-
ke, da die äusserste Gränze des elastischen Widerstandes
ch die angehängte Belastung überschritten ist, alle Theilchen
ichzeitig auseinandergehen. Diese Gränze wird jedoch niemals
ıicht und man betrachtet daher gewöhnlich dasjenige Gewicht,

477. Die elastische Verlängerung, welche ein Sta
und dasselbe angehängte Gewicht erfährt, verhält s
Länge des Stabes und umgekehrt wie die Grösse s
schnittes. Man nennt die an einer Stange von bekan
und bekanntem Querschnitte durch eine ebenfalls be
lastung erhaltene Verlängerung, dividirt durch diese
diese Belastung und multiplicirt mit dem Querschnitte
andern Worten ausgedrückt: die elastische Dehnung
heit der Länge, der Querschnittsfläche und des span
wichtes: den Dehnungsquotienten.

Eine Zahl, welche das Verhältniss der elastische
rung zu der dazu erforderlichen Kraft, oder auch diej
ausdrückt, die bei Körpern von gleicher Länge un
Querschnitte eine gleiche Verlängerung bewirkt, heis
cient oder Modulus der Elasticität. Gewöhnlich
man denselben durch diejenige Anzahl Pfunde, wo
Stange vom Querschnitte Eins, unter Voraussetzung
ner Elasticität bis zur doppelten Länge ausgezog
müsste, und findet ihn dann, indem man mit dem Deh
tienten in 1 dividirt; denn der Dehnungsquotient verh
Längeneinheit, wie die Gewichtseinheit zum Elasti
dulus.

Dividirt man die so gefundene Gewichts-Zahl du
wicht der Kubikeinheit des betreffenden Stoffes, so erh
Länge einer aus demselben Stoffe gebildeten Stange,
senkrechter Lage am oberen Ende befestigt, durch d
ihrer eigenen Masse, ihren obersten Zoll auf die dopp
ausziehen müsste. Häufig wird der Elasticitäts-Modulus
auf dem eben angedeuteten Wege berechnete Län
drückt

Gewichte sind Kilogramme, die Querschnittsflächen Millimetre. Die
ithält in Millimetern die Verlängerungen, welche eine Stange von
tre Querschnitt und 1 Metre Länge erfährt, wenn ihr unteres Ende
ilogr. belastet wird; durch die in der Spalte *t* angegebene Belastung
:lbe Stange zerrissen und durch das in der Spalte *E* angezeigte Ge-
le doppelte Länge ausgezogen werden, wenn ihre Theile überhaupt
sammenhalten könnten.

	δ	t	E	α
gezogen	7,748	61,1	20869	0,0479
ıgelassen*) . . .	7,757	46,9	20794	0,0481
ıht	— —	96,0	18180	0,0550
, ausgez.	7,718	70,0	18809	0,0532
ıgelassen	7,622	40,0	17278	0,0579
. . . .	7,420	161,0	16922	0,0591
. . . .	7,717	65,7	19549	0,0513
. . . .	— —	14,5	12700	0,0787
ısgez.	8,933	40,3	12450	0,0803
ıgelassen	8,936	30,5	10519	0,0951
aht	8,427	50	9277	0,1078
ıgez.	10,369	29,0	7357	0,1359
ıgelassen	10,304	16,0	7140	0,1401
;ez.	18,514	27,0	8131	0,1230
ıgelassen	18,035	10,1	5584	0,1791
t	21,166	34,1	15928	0,0628
ssen	11,215	1,25	1775	0,5634
ısgezogen . . .	11,165	2,07	1803	0,5546
ı (bleifrei) . . .	2,446	1,00	6890	0,1451
er	13,596	. . .	2943	0,3398
. . . .	1	. . . .	218	4,5854

·pern von ganz gleichartiger Masse, z. B. beim Glase, zeigt sich
iedenen Richtungen eine gleiche elastische Beschaffenheit. Dies gilt
:r den Krystallen nur für diejenigen, welche zum Würfelsystem
ılle andern krystallisirten Körper sind nach verschiedenen Rich-
.eich elastisch und ungleich dicht. Spuren dieser Verschiedenheit
nach Savart bei den meisten festen Körpern, selbst bei den Me-

ısticitäts - Coefficient ist für ein und denselben Körper und selbst
ıd derselben Richtung keine ganz constante Grösse. Nicht nur die
leinheit des Stoffes ist von grossem Einflusse darauf, sondern auch
rung in der Dichtigkeit und Temperatur. Nach Werthheim wird
le Umstände vergrössert, welche die Dichtigkeit erhöhen und so um-
)urch Temperatur - Erhöhung vermindern sich die Elasticitäts-
:n in stetiger Weise, jedoch sehr langsam. (Pogg. Ann. Er-

asticitäts - Coefficienten der Metalllegirungen fand Werthheim
Mittel aus denjenigen ihrer Bestandtheile, ohne dass durch die bei
; eines Metallgemisches stattfindenden Verdichtungen merkliche Ab-
ı herbeigeführt wurden.

Während die Länge eines cylindrischen oder prisma-

—

ıach dem Ziehen ausgeglüht.

fekte Versuche von Werthheim haben jedoch dieses
nicht bestätigt. Er wendete hohle Cylinder an, versehen
capillaren Röhre und ganz angefüllt mit Flüssigkeit.
angehängte Gewichte bewirkten Verlängerungen des
wurden dann direkt gemessen, die Erweiterungen sein
aus dem veränderten Stande der Flüssigkeit in den Haa
bestimmt. So fand Werthheim, dass die Volumszunah
der Hälfte sondern nur dem Drittel der Verlängerung glei
Denkt man sich jetzt die dehnende Kraft nach den dr
sionen wirksam, so wie es z. B. der Fall ist, wenn i
Flüssigkeit ganz angefülltes und geschlossenes Gefäss
einer Druckpumpe noch eine neue Menge von derselbe
keit eingetrieben wird, und setzt man die Vergröss
Längeneinheit wie vorher gleich α, so würde hiernac
grösserung auf die Einheit des Volums $3 . \frac{\alpha}{3} = \alpha$ au
D. h. der Dehnungsquotient für die lineare un
kubische Ausdehnung ist gleich gross. Nach
Poisson gegebenen Gesetze würde der letztere $\frac{3\,\alpha}{2}$
wenn α den Werth des ersteren bezeichnet.

479. Alle Körper lassen sich durch äusseren Druc
ten. Die dadurch eintretenden Verkürzungen und Volun
derungen sind, in sofern beim Nachlassen der äussere
kung der frühere Umfang sich vollkommen wieder herst
innerhalb der Gränze der vollkommenen Compressions-
den drückenden Kräften proportional.

Die Grösse der durch Druck bewirkten Veränderung
gen auf die Einheit der Masse, d. i. der Quotient der
mendrückbarkeit ist gleich dem Quotient de

ocke gebracht, in welcher die Luft verdichtet werden konnte. Der vermehrte uck wirkte dann durch die Mündung des Capillarrohrs auf die Flüssigkeit d pflanzte sich durch diese bis auf die Wand des Behälters fort, welche den- lben Druck zugleich von Aussen zu erleiden hatte. Es ergab sich ein mit der nahme der Luftspannung proportionales Sinken der Flüssigkeit in dem Ca- llarrohr, und eben so ein mit dem abnehmenden Drucke proportionales Stei- n. Diese Versuche wurden später von Oerstedt mit der Abänderung wie- rholt, dass das Piëzometer mit Wasser, an der Stelle der Luft umgeben urde. Das Hauptresultat blieb unverändert. Der auf die eine oder die andere eise gefundene gleiche Werth bezeichnete jedoch nur die scheinbare Zusam- endrückung, weil mit der Flüssigkeit zugleich auch die Glasmasse zusammen- drückt und dadurch der innere Raum des Behälters etwas vermindert wor- n war. — Colladon und Sturm suchten die wirkliche Zusammendrückung durch zu ermitteln, dass sie unter Voraussetzung, der innere Raum des Glas- hälters werde durch den von Innen und Aussen gleichzeitig wirkenden Druck eben so viel zusammengedrückt, als ein demselben gleicher Glaskern, aus r direkt gemessenen linearen Dehnung des Glases die kubische Zusammen- ückung, und zwar mit Berücksichtigung der Formel $K = \frac{3}{2}\,\alpha$, durch chnung bestimmten, und diesen berechneten Werth der scheinbaren Verdich- ng der Flüssigkeit hinzufügten. Neuerdings hat sich auch Regnault mit eser Frage beschäftigt und seine Versuche so geleitet, dass daraus die Ver- chtung der Flüssigkeit zugleich mit der Volumsveränderung des Piëzometers stimmt werden konnte. Abwechselnd wurde nämlich entweder bloss die ssenwand des Glasbehälters, oder blos das Innere, oder endlich das Innere d Aeussere zugleich einem verstärkten Luftdrucke ausgesetzt. So erhielt er ei Beobachtungen die zu eben so vielen Gleichungen zwischen der unbekann- n Volumsveränderung der Flüssigkeit und der ebenfalls unbekannten Volums- ränderung der Behältermasse führten. Regnault hat auf diesem Wege die irkliche Zusammendrückbarkeit des Wassers und des Quecksilbers zugleich t der eines Piëzometers von Kupfer, eines zweiten von Messing und eines itten von Glas, gemessen*).

Hier sind seine Resultate zusammengestellt. Die Spalte K enthält die ku- ische Zusammendrückbarkeit des inneren Raumes der Behälter für 1 Atmos- härendruck auf 1 Quadratcentimeter.

Hülle	K	Wasser scheinbar	Wasser wirklich	Quecksilber wirklich
upferne Kugel .	0,000001338	0,00004639	0,00004773	— — —
essingene Kugel	0,000001479	0,00004685	0,00004833	— — —
läserner Cylinder it halbkugelför- igen Grundflächen	0,000002290	0,00004430	0,00004659	0,000003524
			0,00004755	0,000003524

Die Werthe K, welche das Verhältniss der Zusammendrückbarkeit, der von rschiedenen Hüllen umschlossenen Räume für 1 Atmosphärendruck oder 037 Kilogr. auf 1 Q. Centmtr. bezeichnen, sind nicht mit den Quotienten α der hnbarkeit oder Zusammendrückbarkeit der betreffenden Behältermassen verwechseln. Beide sind jedoch proportional, und es verhält sich nach ertheim $K : \alpha = 4 : 3$.

*) Relation des experiences ect. par M. V. Regnault. Paris 1847.

Da nun der Quotient der kubischen Veränderungen dem der linearen gleich ist, so ergibt sich der Dehnungsquotient, wenn das Kilogramm als die Einheit der ziehenden oder drückenden Kraft, das Millimeter als Einheit der Länge, das Quadratmillimeter als Einheit der Fläche gesetzt wird:

$$\alpha = \frac{3}{4} \cdot \frac{100\,K}{1{,}037};$$

so z. B. ist für Kupfer

$$\alpha = \frac{3}{4} \cdot \frac{100}{1{,}037} \cdot 0{,}000001338 = 0{,}0000967.$$

Diese Zahl stimmt mit dem durch Dehnung direkt gefundenen Dehnungsquotienten des Kupfers nahe überein.

Die Zahl 0,00004755 ist der Quotient der wirklichen Zusammendrückung des Wassers, der Atmosphärendruck als Einheit gesetzt. Daher der mit α vergleichbare Werth für Wasser:

$$\frac{0{,}00004755 \cdot 100}{1{,}037} = 0{,}0045854$$

Das Wasser ist mehr als 45 mal dehnbarer oder zusammendrückbarer als das Kupfer und fast 100mal mehr als das Eisen.

Der Elasticitäts-Coefficient des Wassers ist:

$$E = \frac{1}{0{,}0045854} = 218.$$

Der des Quecksilbers ist: $E = 2943$.

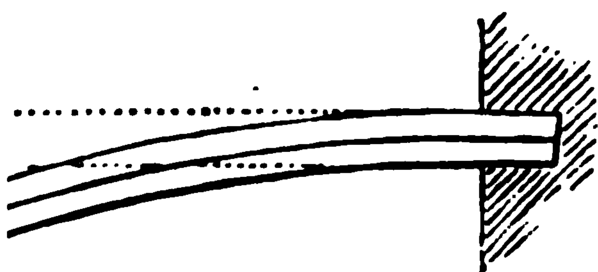
480. Wird ein cylindrischer oder prismatischer Körper auf seinen beiden Grundflächen zusammengedrückt, während seine übrige Oberfläche frei bleibt, so verkürzt er sich und wird dicker. Um dieselbe Verkürzung hervorzubringen, wenn das Prisma von allen Seiten einem gleichen Drucke ausgesetzt wird, ist nach Werthheim die dreifache Kraft im Sinne der Axe erforderlich.

Bei fortgesetztem Drucke auf die Oberfläche einer Säule, deren Seitenflächen frei sind, fallen endlich ihre Theile auseinander, sie wird zerdrückt. Die hierzu nöthige Kraft nennt man die rückwirkende Festigkeit. Ihre Grösse ist von der Grösse der Grundfläche, aber auch von der Höhe der Säule abhängig. Der rückwirkende Widerstand wächst nicht wie die absolute Festigkeit, proportional mit dem Querschnitte oder der Grundfläche, sondern in einem weit grösseren Verhältnisse, weil die innern Theile um so mehr tragen können, je mehr sie durch die Festigkeit der Umgebung gehindert sind, auseinander zu gehen. Der Einfluss der Höhe ist keinem festen Gesetze unterworfen und beruht nur darauf, dass zufällige Ungleichartigkeit der Masse sich bei höheren Säulen leichter geltend macht. Vergleichbare Ausdrücke für die rückwirkende Festigkeit verschiedener Körper sind daher noch weniger zu erlangen als für die absolute Festigkeit. Jede Vergleichung hört auf, so wie eine belastete Säule sich zu biegen beginnt. Im Allgemeinen zeigen harte und spröde Körper die grösste rückwirkende Festigkeit, weil sie der Biegung am besten wiederstehen. So z. B. ist die rückwirkende Festigkeit

isens weit grösser als die des Schmiedeeisens, wäh-
:kehrt, letzteres das erstere hinsichtlich seiner absoluten
übertrifft.

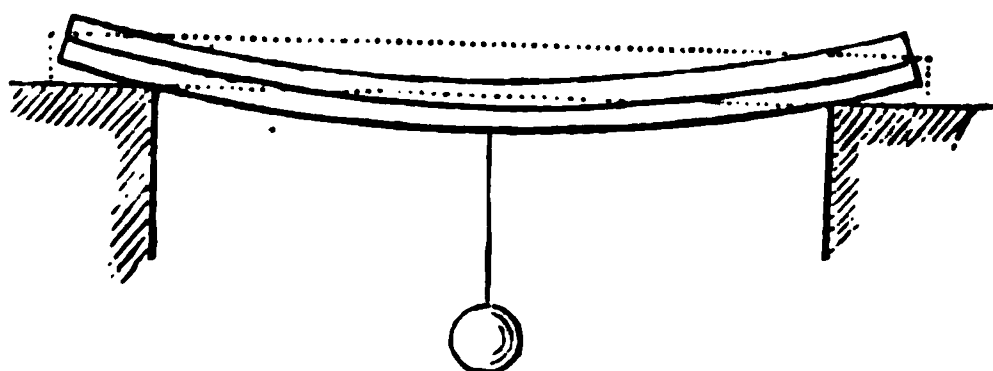
Der Widerstand den die Körper dem Biegen und Zerbre-
gegensetzen, wird ihre relative Festigkeit ge-
n denke sich eine prismatische Stange (Fig. 217) in wagerechter Lage, am einen Ende festgehalten, etwa eingeklemmt, am andern belastet, oder wie Fig. 218 an beiden Enden aufliegend und in der Mitte belastet, so kann sie vermöge ihrer relativen Festigkeit ein gewisses Gewicht tragen ohne zu brechen. Stets aber erfolgt eine mit der Grösse

Fig. 217.



ung zunehmende Biegung, nämlich Dehnung an der erha-
sammendrückung an der hohlen Seite, so dass, wenn man
lange in eine Reihe wagerechter Streifen oder Cohä-

Fig. 218.



nder zerlegt denkt, ein Streifen längs der Mitte der
eder eine Verlängerung noch eine Verkürzung erfährt.
sten Theile tragen dann das wenigste, die äusseren
ler Cohäsionsbänder, weil sie am meisten angestrengt
oder zusammengedrückt) werden, das meiste zum Wi-
bei.

sieht nun leicht, dass die Biegung nichts anderes ist,
rehung der äusseren Theile der Stange um das mittelste
band, wobei einem jeden anderen von der Mitte ent-
nde ein Widerstands-Moment zukömmt, dessen Grösse,
elastische Kraft des Stoffes gegeben ist, nur von dem
les betreffenden Bandes von der Mitte, von diesem aber
r Weise abhängig ist. Mit dem Abstande von der Mitte
mlich die Dehnung oder Zusammendrückung, folglich
Theil des elastischen Wiederstandes, welcher in An-
nommen ist, zugleich mit dem Hebelsarme, an welchem
t zum Angriffe kommt. Die Widerstände der aufeinan-

der folgenden Cohäsionsbänder verhalten sich daher wie die Quadrate ihrer Abstände von der Mitte der Stange, und der Widerstand der ganzen Stange gegen das Biegen, ist dem Quadrate ihrer Höhe proportional. Ausserdem wächst dieser Widerstand, wie leicht einzusehen, direkt mit der Breite und umgekehrt mit der Länge der Stange. — Aus der Zunahme des Widerstandes mit dem Quadrate der Höhe erklärt es sich, dass dünne aber hohe Streifen eines Körpers, wenn sie auch im Sinne der Dicke eine grosse Biegsamkeit besitzen, dennoch im Sinne der Höhe ein bedeutendes relatives Tragungsvermögen zeigen können. Auch wird man jetzt verstehen, warum Stäbe und Säulen, die in der Mitte hohl sind, im Verhältniss zu ihrer Masse ein viel grösseres relatives Tragungsvermögen besitzen, als ausgefüllte.

482. Ein Stab der an einem Ende festgeklemmt, am anderen nach der Längenrichtung gedehnt oder zusammengedrückt, oder auch winkelrecht gegen die Längenrichtung gebogen und dann sich selbst überlassen wird, vollendet eine Reihe elastischer Schwingungen (No. 474), bis nach und nach, theils durch äussere Hindernisse, theils durch Reibung der Theilchen im Inneren die Ruhe sich wieder herstellt.

Die elastische Kraft, durch welche hierbei ein beliebiges schwingendes Theilchen beschleunigt wird, verhält sich wie die Grösse des Weges, den es noch zu durchlaufen hat, um in die Lage seines ursprünglichen Gleichgewichtes zurückzukehren. (475.)

Dasselbe gilt für das Schwerependel für den Fall sehr kleiner Schwingungsweiten, und gerade hierauf beruht, wie die Mechanik lehrt, der Isochronismus seiner Schwingungen. Die elastischen Schwingungen müssen daher ebenfalls isochron sein, und zwar für alle Schwingungsweiten innerhalb der Elasticitätsgränze.

Die beschleunigende Kraft, welche in einem beliebigen Augenblicke das schwingende Pendel treibt, wird für den Fall kleiner Schwingungsweiten gefunden, indem man den Ablenkungsbogen mit der Beschleunigung der Schwere multiplicirt. Nun verhalten sich die Abweichungen elastischer Theilchen aus ihrer Ruhelage wie die Dehnungen oder Zusammendrückungen, wodurch diese Abweichungen erhalten worden sind. Die elastischen Kräfte, von welchen die Schwingungen abhängen, sind bei demselben Stoffe den Dehnungen proportional und werden gefunden, indem man die Dehnung für die Einheit der Länge und des Querschnittes mit dem Elasticitäts - Coefficienten multiplizirt; denn dieser bezeichnet die Kraft, durch welche die Längeneinheit verdoppelt, also die Dehnung Eins bewirkt wird. Der Elasticitäts - Coefficient steht demnach zu der Schwingungszeit

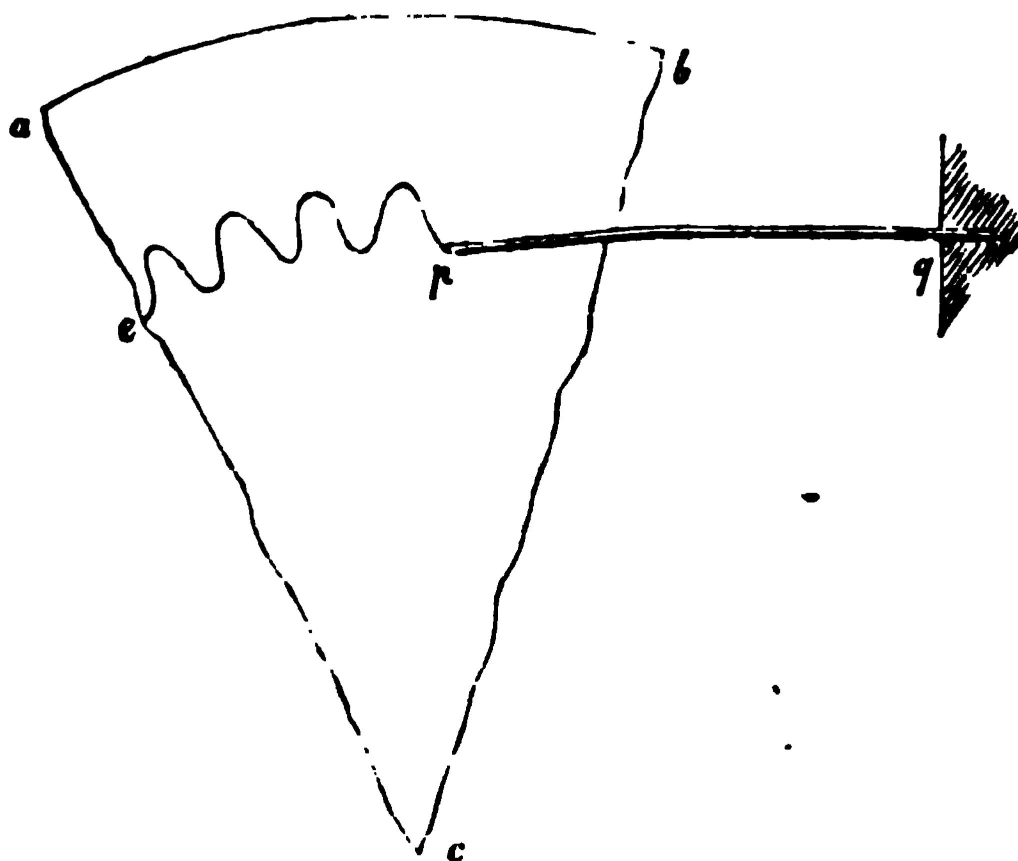
es elastischen Körpers in einer ähnlichen Beziehung, wie die chleunigung der Schwere zur Schwingungszeit des Schwere-ndels.

Man erkennt hieraus die Möglichkeit aus der beobachteten wingungszeit eines elastischen Körpers seine Elasticitäts-Coefenten abzuleiten.

483. Wenn ein elastischer Stab in der Richtung der Länge chüttert wird, so nennt man die dadurch entstehenden elastien Schwingungen: Längenschwingungen (Longitudinalwingungen). Besteht aber die schwingende Bewegung in er Ausbiegung, abwechselnd nach der einen und andern Seite, sind es Querschwingungen (Transversalschwingungen). n hat beide Schwingungsweisen zur Bestimmung der Elasticis-Coefficienten benutzt.

Wertheim ist es gelungen, die Querschwingungen, die ein am einen e eingefugter Stab von bekannter Länge und Dicke in einer Sekunde macht, h einer von Dühamel angegebenen Methode unmittelbar zu zählen*). Eine splatte, die mit einer Schicht Kienruss überzogen ist, wird in gleichförmige rende Bewegung gesetzt. Am Ende des schwingenden Stabs ist eine feine ze befestigt, die auf der Glasplatte ruht, jedoch ohne einen Druck darauf zuüben, so dass weder die Schwingungen der Stange noch die rotirende Begung der Platte dadurch gestört werden können. Der Stab muss also seine irende Bewegung selbst in die berusste Fläche einzeichnen. Während z. B. Platte durch den Winkel acb (Fig. 219) fortschreitet, muss der Stab pq gezackte Linie pe beschreiben, von welcher jede Zacke einer Hin- und er Herbewegung der Spitze, d. h. einer Schwingung entspricht.

Fig. 219.



Nach Poissons Berechnungen vollendet ein prismatischer Stab, der am m Ende festgeklemmt, sonst aber ganz frei ist, wenn man ihn durch einen

*) Pogg. Ann. Ergänz. II. 8.

Stoss am andern Ende nöthigt, Transversalschwingungen zu machen, eine und Herbewegung in der Zeit

$$T = \frac{1}{n} = 0,9905 \frac{\Pi l^2}{h} \sqrt{\frac{\delta}{g E}}$$

Für cylindrische Stäbe gilt in ähnlichem Sinne die Gleichung

$$T = \frac{1}{n} = 1,1437 \frac{\Pi l^2}{r} \sqrt{\frac{\delta}{g E}}$$

n bedeutet die Anzahl in einer Sekunde vollendeter Schwingungen, l die L h die halbe Höhe oder r den Radius des Stabes, δ das Gewicht der kubi Einheit des Stoffs, in demselben Gewichtssystem ausgedrückt, worin der El citäts-Coefficient E gefunden werden soll.

So wurde z. B. für einen Eisendraht von 500 Mmtre Länge und 1 Mmtre Radius, dessen spec. Gewicht 7,748 betrug $n = 8,146$ gefunden. Werthe in die zweite Formel gesetzt, und mit Berücksichtigung, dass di schleunigung der Schwere $g = 9808,8$ mmtre, ergab sich für diesen Eisen $E = 18670$ Kilogramme.

Auf einem ähnlichen Wege hat Werthheim die Schwingung longitudinal schwingender Stäbe gemessen und daraus mit Hülfe der chung

$$T = \frac{1}{n} = 2 l \sqrt{\frac{\delta}{g E}}$$

die Elasticitäts-Coefficienten abgeleitet.

Beide Methoden führten zu sehr übereinstimmenden Zahlen, welche j in den meisten Fällen bedeutend grösser sind, als die für dieselben Stoffe Dehnungsversuche gefundenen Werthe. Z. B. für gezogenen Kupferdrah 8,729 spec. Gewicht ergab sich aus den Querschwingungen der Elasti Coefficient 12513 Kilogramm. Aus Längenschwingungen 12536 und aus nungsversuchen 12449.

Werthheim vermuthet, dass die Verschiedenheit darauf beruhe, durch den Wechsel der Verdichtung und Ausdehnung in der Masse des Temperaturveränderungen erzeugt werden, wodurch die Bewegung besch nigt, also der Elasticitäts-Coefficient scheinbar vergrössert wird.

484. Hat man einen dünnen Draht oder einen Faden am ei Ende befestigt und dreht man denselben am anderen Ende seine Längenaxe, so müssen sich die Theilchen, aus welche gebildet ist, aus ihrer Gleichgewichtslage entfernen. Sie müs daher auch in diesem Falle einen von ihrer Elasticität abhäng Widerstand leisten.

Angenommen, der Draht sei durch ein angehängtes Gew gerade gespannt; sein unterer Theil sei mit einem Zeiger ve hen, der sich so wie in Fig. 220 angedeutet, über einem gethe Kreise bewegt. Die Kraft welche in dem Abstande 1 von Längenaxe des Drahts, oder von der Mitte des Kreises, erfo lich ist, um den Zeiger um einen Bogen 1 (den Halbkreis g Π gesetzt) aus seiner Ruhelage zu rücken, sei a, so wird Kraft $a\varphi$ nöthig sein, um die Ablenkung φ zu bewerkstelli Denn von welcher Art auch die Verschiebung sein mag, we die Theilchen des Drahts durch die Drehung erfahren, so sen doch die Wege, welche sie dabei zurücklegen, i der Grösse des Drehungsbogens proportional sein. Fol

20 muss auch die Grösse des elastischen Widerstandes sich wie die Grösse des Drehungsbogens verhalten; so lange wenigstens, als die Gränze der Elasticität nicht überschritten worden ist. Denkt man sich irgend eine andere Kraft, die sich mit dem elastischen Widerstande ins Gleichgewicht gesetzt hat, an der Spitze des Zeigers, an einem Hebelsarme r wirksam, so ist ihre Grösse $K = \frac{a\,\varphi}{r}$.

Die Drehung eines Drahtes gewährt auf diese Weise ein einfaches Mittel, kleine Kräfte zu messen, sobald nur der Werth von a ein für allemal bestimmt ist. Diese Bestimmung lässt sich durch Schwingungsversuche bewerkstelligen.

Sich selbst überlassen muss nämlich der Zeiger eine Reihe von Schwingungen vollenden, welche mit denen des Pendels die grösste Aehnlichkeit besitzen und auch wie diese isochron sind; weil die beschleunigende Kraft, wie vorher gezeigt wurde, in jedem Zeitraume der Bewegung dem Wege, d. i. dem Drehungsbogen proportional ist, welchen der Zeiger bis zum Eintritte in die Ruhelage noch zu beschreiben die Schwingungszeit gilt daher die Formel:

$$t = \Pi \sqrt{\frac{l}{g}},$$

: für g der geeignete Werth eingesetzt wird. In dieser Pendelformel die Beschleunigung für den Weg 1 oder wenn der Weg ein Bogen en Bogen 1. Die elastische Kraft im Abstande 1 von der Drehfür den Ablenkungsbogen 1 wurde oben mit a bezeichnet. Die Kraft igungspunct, dem die Länge l zugehört, ist daher $\frac{a}{l}$. Die in Punct reducirte Masse des schwingenden Systems sei m, so beträgt te Beschleunigung für den Weg 1, $g\,\frac{a}{l\,m}$;

folglich: $t = \Pi \sqrt{\frac{l.l.m}{g\,a}}$

und dann $a = \frac{\Pi^2\, l^2\, m}{t^2}$.

kanntlich das Trägheitsmoment der schwingenden Masse und kann den Schwingungsversuchen selbst, oder auch durch Rechnung beerden. Alsdann ergibt sich a aus der beobachteten Schwingungs-

iner Reihe von Schwingungsversuchen hat Coulomb den Beweis dass der elastische Widerstand a sich umgekehrt wie die Drahtl direkt wie die 4te Potenz der Drahtdicke verhält, dahingegen rösse des angehängten Gewichtes ganz unabhängig ist*).

ie Gesetze der elastischen Rückwirkung bei der Drehung eines Fa-Drahts gründet sich ein sehr wichtiges physikalisches Instrument, oulomb ersonnen hat um kleine Kräfte zu messen und welchem er : die Drehwage beigelegt hat. Dieses Instrument besteht im Wesent-

ot traité I. 482.

lichen aus einem dünnen Metall- oder Glasfaden, dessen oberes Ende b
und dessen unteres Ende durch Gewichte gespannt ist und eine wag
Nadel trägt. Soll nun eine kleine Kraft gemessen werden, so lässt m
geeigneter Weise auf die Spitze der Nadel einwirken und misst den
um welchen die Nadel, durch Abstossung oder Anziehung aus der Ruhel
gelenkt wird; oder man untersucht, um wie viel Grade das obere E
Drahts gedreht werden muss, um die Nadel in die Ruhelage, aus wel
durch die Einwirkung der Nadel entfernt wurde, wieder zurückzuführ
obere Ende des Drahts muss desshalb ebenfalls mit einem Zeiger v
sein, der auf einer in Grade getheilten Scheibe mit Reibung beweglich
Schutze vor dem Luftzuge pflegt man Draht und Zeiger mit einem Geh
Glas zu umschliessen.

Coulomb*) hat die Drehwage hauptsächlich zu electrometrisc
dien benutzt. Auch nach ihm ist sie wiederholt zu diesem Zwecke g
worden. In der neuesten Zeit vorzugsweise von Peter Riess**), i
Abhandlung zugleich eine ausführliche Beschreibung der von ihm geb
Drehwage enthalten ist.

Auch das von Kohlrausch verbesserte, oder eigentlich erst zu
eines Messinstruments erhobene Dellmann'sche Electrometer, ist ei
wage***).

Cavendish hat mittelst der Drehwage die wechselseitige A
der Erdkörper nachgewiesen†), und daraus die mittlere Dichtigkeit
abgeleitet. Nach ihm beträgt dieselbe 5,5; oder das mittlere Gewicht
ist 5,5 mal so gross, als das eines gleichen Volums Wasser. Diese
sind in neuerer Zeit von Reich††) und von Baily†††) mit wenig ve
nem Erfolge wiederholt worden.

Stoss elastischer Körper.

488. Lässt man eine weiche Masse, z. B. eine Ku
feuchtem Thon gegen eine harte und unbewegliche Fläche s
so wird erstere abgeplattet oder ihr Durchmesser in der R
der Bewegung verkürzt.

Dieses Verhalten beruht darauf, dass die hintereinan
genden Schichten, welche die Masse des bewegten Körpe
sammensetzen, nicht gleichzeitig, sondern nur folgeweise z
kommen können, wodurch eine Zusammendrückung im Si
Bewegung eintreten muss.

Dieselbe Ursache hat eine gleiche Wirkung auch bei
schen Körpern zur Folge. Nur ist sie, so lange die Grä
Elasticität nicht überschritten wurde, vorübergehend, und
nicht so unmittelbar in die Sinne fallend. In einigen Fäll
sich die Abplattung auch bei elastischen Körpern fühlbar

---

*) [illegible]
**) Pogg. Ann. LXX. [illegible]
***) Pogg. Ann. LXXI. [illegible] LXXII. [illegible]
†) Phil. Transactions [illegible]
††) Versuche über die mittlere Dichtigkeit der Erde mittelst der
(Freiberg [illegible]).
†††) Pogg. Ann. LVII. [illegible]

st man z. B. eine Elfenbeinkugel auf eine mit Russ gewärzte Marmorplatte aus 2 — 3 Fuss Höhe erabfallen, so gt sich an dem Auffallspuncte ein schwarzer Fleck von t grösserem Umfange als nachher durch die blosse Berühg der Kugel mit der geschwärzten Fläche erhalten werden n.

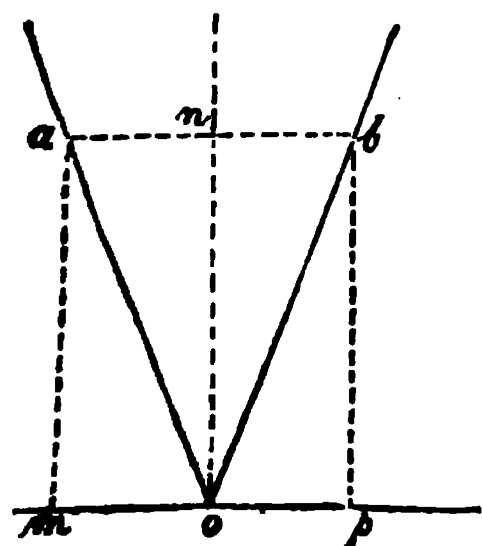
Der Druck welchen demzufolge die noch in Bewegung belichen Theile gegen diejenigen ausüben, deren Bewegung bes erloschen ist, hört auf, wenn endlich alle zur Ruhe gekommen d. Der zusammengedrückte elastische Körper beginnt aber i sich wieder auszudehnen; stufenweise stellt sich die frühere talt wieder her, und mit ihr, nur in entgegengesetztem Sinne, frühere Geschwindigkeit. So kommt es, dass elastische Körvon Wandflächen, welche der Fortbewegung einen hinlänggrossen Widerstand bieten, abprallen, während weiche Körnur zusammengedrückt werden und dabei ihre Bewegung einsen.

486. Eine Elfenbeinkugel die auf einer dicken und grossen morplatte senkrecht aufschlägt, wird fast zu derselben Höhe ückgeworfen, von welcher sie herabgefallen war, woraus man ht, dass sie die anfängliche Geschwindigkeit fast vollständig eder gewonnen hatte.

Befindet sich die Kugel vor dem Stosse in Ruhe, hängt sie B. an einem Faden, und setzt man die Platte in Bewegung, so rd erstere durch den Stoss der letzteren mit der doppelten Gewindigkeit fortgeschleudert. Denn die einfache Geschwindig- der Platte würde die Kugel auch ohne Mitwirkung der Elasti- haben annehmen müssen. Da sie aber zugleich zusammenrückt wird, wie wenn sie selbst auf die Platte gefallen und se dabei ruhend geblieben wäre, so muss sie dieselbe Geschwinkeit in Folge der elastischen Rückwirkung noch einmal gemen, also sich mit der doppelten Geschwindigkeit fortbegen.

Wenn die Stosslinie *ao* (Fig. 221) mit der über dem Einfallspuncte *o* errichteten Senkrechten *on* einen Winkel bildet, so wird die Kugel in der Richtung *ob* zurückgeworfen, so dass die drei Linien *oa*, *on* und *ob* in einer und derselben Ebne liegen und dass der Winkel *bon*, der Zurückwerfungswinkel, gleich ist dem Winkel *aon*, dem Einfallswinkel. Denn man kann sich in diesem Falle die Bewegungsgrösse der aufschlagenden Kugel, nach dem Gesetze des Parallelogramms der Kräfte, aus zwei Bewe-

Fig. 221.



gungsgrössen nach den Linien *no* und *mo* zusammengesetzt denken. Von diesen kann durch den Stoss nur die senkrechte *n* zernichtet und dann in entgegengesetztem Sinne wiedergegeben werden; während die mit der Einfallsebne gleichlaufende *m o* unverändert bleibt. Nach dem Stosse müssen sich daher die Bewegungen *mo* oder *op* und *on* zu der Bewegungsgrösse *ob* zusammensetzen.

487. Stossen zwei Körpermassen m und m' mit den Geschwindigkeiten v und v' zusammen, so sollten sie nach No. 118 die gemeinschaftliche Geschwindigkeit $V = \frac{m\,v \pm m'\,v'}{m + m'}$ annehmen. Diess ist jedoch bei elastischen Massen nur einen Augenblick der Fall. Denn durch den Stoss haben sich beide wechselsweise zusammengedrückt. Sie streben daher sich wieder auszudehnen und da jede beziehungsweise zur andern als harter (nicht weiter zusammendrückbarer) Widerstand erscheint, so lässt sich einsehen, dass jede die Bewegung, welche sie verloren oder gewonnen hatte, durch die elastische Rückwirkung noch einmal verlieren oder gewinnen muss. War die Geschwindigkeit vor dem Stosse v, so wird sie also nach dem Stosse $v + 2\,(V - v) = 2\,V - v$ betragen müssen.

Beim Gebrauche dieser Formel darf man nicht unbeachtet lassen, dass v in Beziehung zu V positive und negative Bedeutung haben kann.

Beispiel: Zwei Kugeln von gleicher Grösse und Geschwindigkeit stossen wider einander; so findet man $V = o$ daher $2\,V - v = -v$. D. h. beide Kugeln prallen von einander ab und kehren, jede mit der früheren Geschwindigkeit zurück.

Angenommen, die Geschwindigkeiten beider gleich grossen Kugeln seien verschieden, so wird $V = \frac{v \pm v'}{2}$.

$$\text{Daher } 2\,V - v = v \pm v' - v = \pm v'.$$

D. h. die Kugeln kehren nach dem Zusammenstosse mit verwechselter Geschwindigkeit zurück.

Ist die Geschwindigkeit der einen Kugel $v' = o$ so wird $V = \frac{v}{2}$.

Daher für die eine Kugel $2\,V - v = v - v = o$
und für die andere $2\,V - o = v$.
D. h. die ruhende Kugel bewegt sich mit der Geschwindigkeit der stossenden fort, während letztere ihre Bewegung einbüsst.

Denkt man sich eine Reihe von Kugeln hintereinander an Fäden aufgehängt, dass sie sich berühren. Hebt man die vorderste und lässt sie dann wieder frei, so überträgt sie die gewonnene Geschwindigkeit durch den Stoss auf die zweite, diese eben so auf die dritte, u. s. w. endlich nur die letzte, welche die erhaltene Bewegung nicht weiter übertragen kann, fortfliegt. Hebt man die zwei oder drei vordersten Kugeln und lässt sie wieder fallen, so werden die zwei oder drei letzten der Reihe fortgeschleudert. Der Grund liegt darin, weil die zweite und dritte der gehobenen Kugeln beim Herabfallen sich nothwendig gegen die erste

:twas verspäten müssen, daher jede ihren Stoss erst ausübt nachdem lie vorhergehende schon wieder zur Ruhe gekommen war.

Summe der Bewegungsgrössen zweier Körper vor und nach dem bleibt, wie schon früher gezeigt wurde (118), unverändert. Aber auch men der lebendigen Kräfte vor und nachher müssen gleich geblieben eil der ganze durch den Stoss herbeigeführte Verlust, durch die ela-Rückwirkung vollständig wieder gewonnen wird.

ıflanzung der Bewegung in einem gleichartig elastischen Mittel; Wellenbewegung.

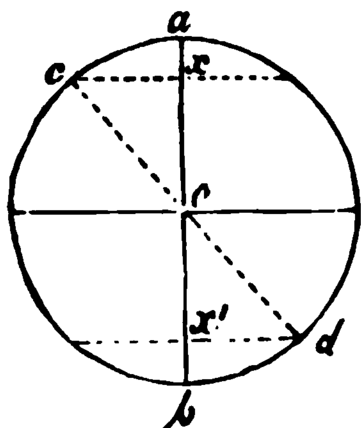
38 Alle Schwingungserscheinungen elastischer Körper, von en bisher die Rede war, gleichen sich darin, dass die zu-:nschwingenden Theilchen sich immer gleichzeitig in glei-ichwingungsphasen befinden, nämlich gleichzeitig sich zu en beginnen, gleichzeitig, jedes mit seiner grössten igungsgeschwindigkeit die Gleichgewichtslage durch-en, gleichzeitig die äusserste Gränze ihrer Ausweichungen ıen u. s. f. Man nennt sie vorzugsweise stehende ingungen.

enn durch äussere Einwirkung, durch den Stoss, zunächst ıur eine einzige Stelle einer elastischen Masse getroffen o pflanzt sich die hierdurch bewirkte Bewegung der gestos-Theile gleichwohl nach und nach durch die ganze Masse enn vermöge den zwischen den Theilchen thätigen Kräfte eines derselben aus der Ruhelage treten, ohne alle andern ig mit in die Bewegung zu ziehen. Hierdurch entstehen ·tschreitenden Schwingungen, die übrigens gleich stehenden, longitudinale oder transversale sein können. ·tschreiten von Längenschwingungen beruht stets auf einer ınzung von Verdichtung und Ausdehnung in der Masse des :hen Mittels; ähnlich wie der auf eine Elfenbeinkugel aus-Stoss, durch eine ganze Reihe von Kugeln fortgepflanzt Fortschreitende Querschwingungen dagegen bestehen ähn-· Wellenbewegung des Wassers, wesentlich nur in einer reitendeu Verschiebung der Theilchen. Ist die Verschie-von einer Verdichtung begleitet, so entstehen Quer- und ı-Schwingungen, die sich unabhängig von einander und mit :hen Geschwindigkeiten fortpflanzen.

Schwingende elastische Theilchen aller Art haben bei vollkommener it des Mittels das mit einander gemein, dass die sie beschleunigenden zögernden elastischen Kräfte, in jedem Augenblicke der Bewegung, dem von der Gleichgewichtslage proportional sind (No. 475). Nimmt man

z. B. ab (Fig. 222) als Spielraum der Hin- und Herbewegung eines Theilchens; den Mittelpunkt o als Gleichgewichtslage; a als Grösse der bewegenden Kraft für den Abstand 1, und setzt $ao = ob = r$, $ox = ox' = x$; so ist $r a$ die Kraft, wenn das Theilchen sich in a oder b, an den Puncten seiner grössten Schwingungsweite befindet. Von dieser Kraft ist ihm bei der Ankunft in x oder x' noch $a x$ geblieben. Das Theilchen hat also den Weg $ax = bx' = r - x$ unter dem Triebe einer mittleren Beschleunigung $g\,\frac{a\,(r+x)}{2\,m}$ zurückgelegt, wenn m seine Gewichtsmasse vorstellt. Seine Geschwindigkeit im Augenblicke der Ankunft in x oder x' ist demnach

Fig. 222.



$$v = \sqrt{2\,g\,\frac{a\,(r+x)}{2\,m}\,(r-x)} = \sqrt{\frac{g\,a}{m}}\,(r^2 - x^2)$$

Man ziehe um o als Mittelpunct und mit dem Halbmesser $oa = r$ einen Kreis und setze Winkel $coa = \varphi$ so ist $ox = r\cos.\varphi$;

$$r^2 - x^2 = r^2\,(1 - \cos.^2\varphi) = r^2 \sin.^2\varphi \text{ folglich:}$$

$$v = r \sin.\,\varphi \sqrt{\frac{g\,a}{m}}\,.$$

Betrachtet man einen beliebigen Abstand des schwingenden Theilchens von seiner Gleichgewichtslage als Cosinus eines Kreisbogens, der um den Punct des Gleichgewichtes als Mittelpunct, mit der grössten Schwingungsweite als Radius gezogen ist, so ist die während der Bewegung bis zu diesem Abstande gewonnene Geschwindigkeit, dem Sinusse jenes Bogens proportional.

Für Bogen $\varphi = \frac{\Pi}{2} = 90°$ ist $x = o$ und $v = r\sqrt{\frac{g\,a}{m}} = rA$.

rA bezeichnet die grösste Schwingungsgeschwindigkeit des Theilchens. Sie wird im Augenblicke der Ankunft in o erlangt. Für jede andere Lage, deren Entfernung von 0 beträgt: $r\cos.\varphi$ ist $v = r\,A \sin.\varphi$ *).

---

*) Da das Theilchen bei der Ankunft in x die Geschwindigkeit r be[...] so muss es in dem nächstfolgenden Zeittheilchen dt den Weg $-dx =$ [...] (1) zurücklegen. dx ist hier mit dem negativen Zeichen behaftet, da es [...] Verminderung der Wegeslänge x ausdrücken soll. Nun ist x gleich $r\cos$[...] daher $dx = -r\sin.\varphi\, d\varphi$. Setzt man diesen Werth von dx in die Gleichung (1) und eben so statt v den oben gefundenen Werth, so wird

$$r \sin.\,\varphi\; d\,\varphi = r \sin.\,\varphi\; A\; d\,t\,.$$

folglich $d\,\varphi = Adt$ und $\varphi = A\,t + \text{Const.}$

Da nun für $\varphi = o$ auch t gleich o wird; so verschwindet die Constante, man erhält, wenn für den Bogen φ der Halbkreis Π genommen wird: $\Pi =$[...] D. h. die Zeit t einer Hin- oder Herbewegung ist gleich dem Peripherieverhältnisse dividirt durch die beständige Grösse $A = \sqrt{\frac{g\,a}{m}}$.

Diese Entwicklung lehrt, dass die Gleichdauer elastischer Schwingungen sich als eine nothwendige Folge des elastischen Grundgesetzes ergibt. Sie gilt aber nicht blos für elastische Schwingungen, sondern für Hin- und Herbewegungen jeder Art, bei welchen, wie bei elastischen Schwingungen die Triebkräfte fortdauernd den noch zu beschreibenden Wegen proportional sind.

Z. B. für kleine Schwingungen des Schwerependels verhält sich die bewegende Kraft wie das Gewicht m der Pendelmasse multiplicirt mit dem Quotienten

Indem die Bögen von 0 bis 90° in arithmetischem Verhältnisse zunehmen, chsen die Geschwindigkeiten wie die Sinusse der Bögen. Im zweiten Quanten ist die Geschwindigkeit abnehmend. Im dritten, nämlich für die erste fte der Bewegungsbahn des zurückkehrenden Theilchens wieder beschleuend, im vierten Quadranten verzögernd. — Wenn man die ebenfalls in arithischem Verhältnisse zunehmende Zeit (T) einer ganzen Hin- und Herbeweg mit einer ganzen Kreisumdrehung vergleicht, und sie demgemäss mit 2Π, alich dem Kreisumfange für den Halbmesser 1 bezeichnet, so stellt der Bo φ eine Zeit t vor, während welcher das schwingende Theilchen den Weg - x beschreibt.

Es ist daher: $t : T = \varphi : 2\Pi$ und $\varphi = 2\Pi \frac{t}{T}$

Wenn für einen beliebigen Augenblick die Ausweichung eines schwingen Theilchens beträgt:

$$x = r \cos. (2\Pi \frac{t}{T}), \quad (I)$$

ist die diesem Standpunkte zugehörige Geschwindigkeit:

$$v = r A \sin. (2\Pi \frac{t}{T}). \quad (II)$$

Aus diesem Grunde kann man sagen: Die Schwingungsgeschwinkeit eines elastischen Theilchens verhält sich wie der Sinus verflossenen Schwingungszeit; die ganze Schwingungszeit (Zeit er Hin- und Herbewegung) als Kreisumfang gedacht.

490. Jeder beliebige Zeitbogen $\varphi = 2\Pi \frac{t}{T}$ heisst eine Schwingsphase. Die Ausweichungen des schwingenden Theilchens verhalten sich e die Cosinusse, die Geschwindigkeiten wie die Sinusse der Schwingungsn.

Wenn das Theilchen eine Reihe Schwingungen hintereinander vollendet die Zeit t vom Beginne der ersten gezählt wird; so drückt $\frac{t}{T}$ die And derselben aus; $2\Pi \frac{t}{T}$ aber bezeichnet die Phase, welche sich jedesl in der Zeit T einer Hin- und Herbewegung wiederholt.

Phasen, die immer um eine ganze Anzahl Schwingungszeiten τ oder umfänge 2Π verschieden sind, nennt man gleiche Phasen, weil sie chen Richtungen der Bewegung so wie gleichen Ausweichungen und Gewindigkeiten des schwingenden Theilchens entsprechen. Die Phasen $2\Pi \frac{t}{T}$. $2\Pi \frac{t + m T}{T}$ sind einander gleich, wenn m eine ganze Zahl betet.

Phasen wie c und d (Fig. 222), welche um einen halben Kreisumfang oder eine ungerade Anzahl halber Umfänge verschieden sind, werden entgegesetzte genannt. So sind die Phasen $2\Pi \frac{t}{T}$ und $2\Pi \frac{t \pm (m+\frac{1}{2})T}{T}$ gegengesetzte, weil sie für gleiche Ausweichungen und Geschwindigkeiten

---

wingungsbogens durch die Pendellänge. Daher für Bogen 1 ist $u = m \frac{1}{l}$ $A = \sqrt{\frac{g}{l}}$ somit die Schwingungszeit $t = \Pi \sqrt{\frac{l}{g}}$.

des Theilchens, entgegengesetzten Richtungen der Bewegung entsprechen. (Schwerd, die Beugungserscheinungen etc. Einleitung.)

Die vorstehenden Sätze und Betrachtungsweisen gestatten eine häufige Anwendung. Hauptsächlich aber sind sie von Wichtigkeit für das Studium der fortschreitenden Schwingungen oder der Wellenbewegungen, von welchen wir jetzt einige der wichtigsten Fälle ausführlicher untersuchen wollen; und zwar zunächst vorzugsweise von dem theoretischen Gesichtspuncte aus, von dem aus sie sich als unmittelbare und nothwendige Folge der allgemeinen elastischen Grundgesetze ergeben. Man wird daraus die Erkenntniss schöpfen, dass die Kräfte, welche die kleinsten Theilchen der Körper beherrschen, in einer so höchst merkwürdigen Wechselwirkung stehen, dass die Bewegung auch nicht eines einzigen materiellen Punctes möglich ist, ohne dass nicht stufenweise seine weiteste Umgebung genöthigt wird, daran Antheil zu nehmen.

491. **Wellen durch Biegung gespannter fadenförmiger Körper.** — Man weiss, dass wenn ein beliebiger Punct einer gespannten Schnur rasch einen Stoss erhält, die dadurch anfangs nur an der gestossenen Stelle bewirkte Ausbiegung sich nach beiden Seiten hin fortpflanzt und an entfernteren Puncten noch beobachtet werden kann, während die gestossene Stelle schon wieder zur Ruhe zurückgekehrt ist.

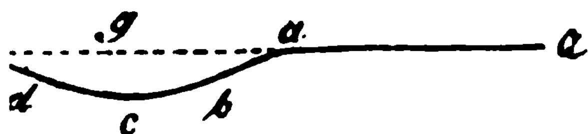
Wird der Versuch mit einem wenigstens 30 Fuss langen und ½ Zoll dicken, nicht stark gespannten Seile angestellt (Wellenlehre der Gebrüder Weber S. 443) so lässt sich die Erscheinung leicht mit dem Auge verfolgen. Man sieht dann die an einem Ende hervorgebrachte Ausbiegung in bestimmt begränzter Länge nach dem andern Ende fortlaufen, von dort in umgekehrter Lage, (z. B. die Erhabenheit der Biegung nach unten gewendet, wenn sie vorher oben war) zurückkehren und so mehrmals den Weg dem Seile entlang beschreiben, bis endlich durch äussere Hindernisse und Reibung der Theilchen aneinander der Trieb der Bewegung erschöpft wird. Diese hin und her laufende Ausbiegung wird eine **Welle** genannt und die Länge des ausgebogenen Stückes ihre **Länge**.

Bei mässiger Spannung des Seils ist leicht wahrzunehmen, dass die Länge der Welle nicht von der Stärke der Ausbiegung, sondern von der Zeit des Stosses abhängt. Je kürzer die Zeit, in welcher einem Theile des Seils die transversale Geschwindigkeit eingeprägt wurde, um so kürzer ist die fortlaufende Welle. Erregt man in rascher Folge mehrere Wellen, immer an derselben Stelle, so laufen sie hinter einander her, ohne dass, auch bei ungleicher Stärke der Ausbiegung und selbst ungleicher Länge, eine die andere stört. Man erkennt hieraus, dass die Geschwindigkeit des Fortschreitens der Seilwellen weder von ihrer Stärke noch von ihrer Länge abhängig ist. Dagegen vermindert sich die Fortpflanzungs - Geschwindigkeit der Welle bei zunehmendem Gewichte der Seile, und wächst bei zunehmender Spannung, so dass bei stark gespannten Schnüren und Saiten die Beobachtung für den

und mehr unsicher wird. Was jedoch dem Versuche ꞔeit entgeht, lässt sich mit Berücksichtigung der allge- ꞔtischen Gesetze durch Betrachtungen und durch Rech- zen.

P Q (Fig. 223) bedeute einen durch das Gewicht *P* gespannten Faden, *a b c d e* die daran von *P* nach *Q* laufende Welle; *c* den tiefsten Punct der Biegung. Alle zwischen *e* und *c* befindliche Theilchen sind im Begriffe sich zu heben und, in der Lage *cg* angekommen, zur bleibenden Ruhe

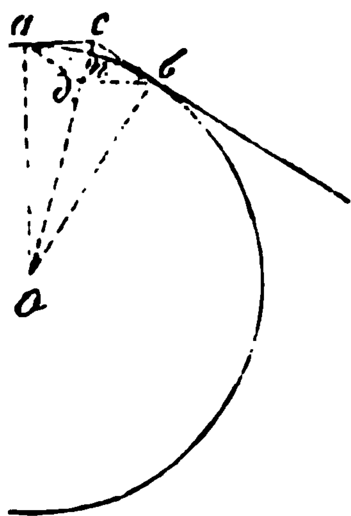
Fig. 223.



en, alle zwischen *c* und *a* liegende Theilchen senken sich, so dass ıd nach dieselbe Senkung wie das Theilchen *c* annehmen wird. — h den Faden vollkommen biegsam, so kann die Bewegung der en Linie *PQ* entfernten Theilchen nur darauf beruhen, dass jedes Scheitelpunkt eines Winkels darstellt, welchen die Tangen- n dasselbe einschliessenden Puncte der Biegung mit einander

ıd *b* zwei, ein beliebiges Theilchen *c* der Wellenbiegung (Fig. 224) zunächst begränzende Puncte; *ac* und *bc* die Tangenten der Puncte *a* und *b*, deren Richtungen in *c* zusammenstossend, den Winkel *acb* bilden; so muss vermöge der Spannung der Saite in der Richtung dieser Linien, ein mittlerer Druck gegen den Mittelpunkt *o* der Krümmung entstehen, dessen Grösse auf folgende Weise bestimmt werden kann. Der von *c* gegen *a* so wie von *c* gegen *b* ausgeübte Zug ist gleich der Spannung des Fadens, gleich *P*. Die resultirende Kraft *K* verhält sich daher zu *P* wie *cd* : *ac*. Man ziehe *an* rechtwinklig auf *cd*; man hat dann Dreieck *acn* ähnlich *aco*, weil beide rechtwinklige Dreiecke den Winkel *acn* ge- ı haben. Es ist daher $oc : ac = ac : \frac{1}{2} cd$; folglich auch *ac*: und da $oc = r$, die gesuchte Kraft $K = 2.ac \frac{P}{r}$. Der

Fig. 224.



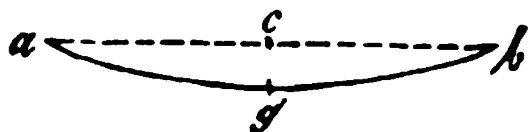
l. der Abstand der dem Puncte *c* zunächst liegenden Theilchen st unveränderlich. *K* wächst folglich mit der Spannung und um- er Krümmungshalbmesser.

Vorgange der Wellenbildung und aus der Weise ihres Fortschrei- u schliessen berechtigt, dass die Krümmung der Wellenlinie in der uncte *a* und *e* und in der Mitte *c* am stärksten ist, dass sie sich ge- e *b* und *d* hin, deren Lage $\frac{1}{4}$ und $\frac{3}{4}$ der Wellenlänge entspricht, ıd an diesen Punkten selbst verschwindet. Man muss desshalb gen der Wellenbiegung unterscheiden, deren jede gleich $\frac{1}{4}$ der Der vorderste Theil *a b* kehrt seine Convexität gegen die Ruhe- ns, die beiden folgenden Theile *bc* und *cd* ihre Concavität, der il wieder seine Convexität. Daraus erkennt man nun zunächst, ›rdertheil ein Bestreben sich zu senken allmählig von *a* nach *Q* n muss, denn bei allen Theilchen zwischen *a* und *b* äussert sich gegen den Mittelpunkt ihrer Krümmung, d. h., mässige Biegung , fast senkrecht abwärts. Die hieraus entspringende Bewegung cht eintreten, ohne dass die folgenden noch ruhenden Theilchen enfalls eine Biegung erleiden.

Es ist einleuchtend, dass während des Fortschreitens der Welle ein jedes Theilchen des Fadens nach und nach alle Lagen annehmen muss, die durch das Bogenstück *a b* bezeichnet sind. Das betreffende Theilchen ist folglich in allen diesen Lagen einer beschleunigenden Kraft ausgesetzt, wodurch es sich mit zunehmender Geschwindigkeit senken muss. Diese Geschwindigkeit hat bei *b*, wo die Krümmung eine kurze Strecke aufhört um dann in die entgegengesetzte überzugehen, ein Maximum erreicht. Während dann das Theilchen die verschiedenen durch das Bogenstück *b c* bezeichneten Lagen annimmt, ist es der Einwirkung verzögernder Kräfte ausgesetzt. Die Bewegung dauert zwar im früheren Sinne fort, aber die Geschwindigkeit mindert sich wieder und ist in dem Augenblicke, da das Theilchen die Stellung *c* erreicht hat, völlig erloschen. In dieser Lage der stärksten Biegung ist eine dauernde Ruhe unmöglich. Das Theilchen wird vermöge der Beschaffenheit der Krümmung alsbald wieder aufwärts getrieben, gewinnt bei der Ankunft in der Höhe *d* zum zweitenmal ein Maximum der Geschwindigkeit, wird dann im letzten Viertel seiner Bahn wieder verzögert und gelangt endlich bei der Ankunft in *e* zur bleibenden Ruhe. Ein beliebiges Theilchen *a* des Fadens beschreibt also in der Zeit, während die Welle an ihm vorüberschreitet und indem es nach und nach alle durch die Wellenbiegung bezeichneten Lagen annimmt, einen gegen die Linie *PQ* senkrechten Weg *gc* einmal hin und einmal her. Es ist, während es diese Schwingung vollendet, einer veränderlichen Kraft unterworfen, welche sich nach elastischen Gesetzen wie der jedesmalige Weg verhält, den es beschleunigt oder verzögert noch zurückzulegen hat.

Die Ausbiegung einer gespannten Saite bedingt zwar stets eine Dehnung und dadurch eine Vermehrung der Spannung. Setzt man jedoch die grösste Senkung als sehr klein gegen die Länge *ab* voraus, so ist die Zunahme der Spannung so gering, dass man ohne einen merklichen Fehler zu begehen, die Spannung an allen Punkten der Biegung als gleich und gleich *P* betrachten darf.

Fig. 225.



Wenn ein an einer gespannten Saite *ab* (Fig. 225) angehängtes Gewicht *K* die Senkung *cg* bewirkt, so verhält sich nach dem Gesetz des Parallelogramms der Kräfte:

$$K : P = 2 \,.\, cg : gb;$$

wenn man dann ferner mit Rücksicht auf die als sehr gering angenommene Biegung setzt: $gb = cb$, so wird

$$K : P = 2 . cg : cb; \text{ also } K = \frac{2 . cg . P}{c\,b}$$

D. h. bei einem und demselben Faden oder bei immer gleicher Länge der Biegung steht die biegende Kraft *K* im zusammengesetzten Verhältnisse der Spannung und der Senkungstiefe oder des Pfeils.

Durch Entfernung von *K* würde die Saite sogleich aufwärts schnellen. *K* steht folglich im Gleichgewichte mit allen über die Saite verbreiteten senkrecht aufwärts wirkenden Kräften. Man kann eine jede der 4 Abtheilungen der Wellenbiegung *abcde* (Fig. 223) der Hälfte einer gebogenen Saite vergleichen, deren ganze Länge gleich der halben Wellenlänge. Die Summe der auf eine Abtheilung, z. B. über das vorderste Stück *ab* der Welle, in irgend einem Augenblicke vertheilten senkrechten Kräfte lässt sich daher einem Gewichte

$$K = \frac{2 \,.\, \frac{cg}{2} \,.\, P}{l/_2} = \frac{2 . cg . P}{l}$$

gleichsetzen, wenn man mit *l* die Hälfte einer Wellenlänge bezeichnet.

Es sei *t* die Zeit, in welcher die Bewegung an einem beliebig langen, gespannten Faden *PQ* um *a b*, d. h. um ein Viertel Wellenlänge fortrückt.

ıke sich ab in n kleine, ganz gleiche Abschnitte zerlegt, so ist $\frac{t}{n}$ die t, in welcher irgend ein Theilchen $\frac{ab}{n}$ seine Beschleunigung auf das vor ı liegende Theilchen überträgt und dafür die des folgenden übernimmt. Ein ɛilchen bei a, welches eben in die Welle eintritt, muss daher in der Zeit t fenweise durch alle die senkrechten Kräfte getrieben werden, welche ichzeitig das Bogenstück ab beleben und deren Summe gleich K ist, und ar von jeder derselben während eines Zeittheilchens $\frac{t}{n}$. Die bei der Anıft in b gewonnene Geschwindigkeit muss daher genau so gross sein, als re die Masse $\frac{ab}{n}$ des Theilchens, nur während eines einzigen Zeitabschnittes —, jedoch durch die ganze Kraft K getrieben worden. Die grösste Schwinıgsgeschwindigkeit ist daher (112):

$$c = g \frac{K}{ab/n} \cdot \frac{t}{n} = g \frac{K \cdot t}{ab};$$

r indem man die Masse $ab = \frac{l}{2} \cdot f \cdot s$ und für K den oben gefundenen rth setzt:

$$c = g \frac{4 \cdot cg \cdot P}{l \cdot l \cdot f \cdot s} t.$$

bedeutet hier die Querschnittsfläche und s das Gewicht der Kubikeinheit r Saite.

Nun ist aber auch, indem man beachtet, dass die mittlere beschleunigende raft eines jeden Theilchens

$$\frac{K}{ab} = \frac{2 \cdot 2 \cdot cg \cdot P}{l \cdot l \cdot f \cdot s}$$

trägt, nach bekannten Gesetzen (No. 112) die Schwingungsgeschwindigkeit:

$$c = \sqrt{2g \frac{2 \cdot 2 \cdot cg \cdot P}{l \cdot l \cdot f \cdot s} \frac{cg}{2}} = \frac{2 \cdot cg}{l} \sqrt{\frac{g \cdot P}{f\, s}};$$

her indem beide Werthe von c einander gleich gesetzt werden, nach den erderlichen Reductionen:

Die Zeit, in welcher eine Querwelle um ein Viertheil ihrer nge fortschreitet:

$$t = \frac{l}{2} \sqrt{\frac{f \cdot s}{g \cdot P}};$$

Die Zeit T der ganzen Schwingung des Theilchens, oder die it, in welcher die Welle um eine ganze Wellenlänge fortrückt, viermal so gross. Also

$$T = 2\, l \sqrt{\frac{f \cdot s}{g \cdot P}}$$

Die Geschwindigkeit, mit welcher die Welle an einem biegmen Faden fortschreitet ergibt sich hiernach:

$$v = \frac{2\, l}{T} = \sqrt{\frac{g \cdot P}{f \cdot s}}.$$

D. h. sie verhält sich direkt wie die Wurzel aus der

durch welche die Einheit der Querschnittsfläche einer spannt ist, und umgekehrt, wie die Wurzel aus der Dicht Stoffes.

Die Gebrüder Weber haben die Richtigkeit dieses Gesetzes, Euler durch theoretische Untersuchungen gekommen war, durch einer gespannten Schnur geprüft. (Wellenlehre S. 460). Die Schn einem bestimmten Augenblicke mit dem Finger gestossen; dann m Hülfe einer Tertienuhr die Zeit, welche die erzeugte Welle bedurft 4 mal zu ihrem Ausgangspuncte zurückzukehren, d. h. die Länge d bis 4 mal hin und her zu laufen. Zunächst zeigte sich, dass diese Z len von ungleicher Grösse immer dieselbe blieb, so lange die Spa verändert wurde, und dass die Geschwindigkeit des Fortschreitens nig durch die abnehmende Stärke der Wellen eine Aenderung erfuh Als hierauf die Schnur in drei Versuchs-Reihen ungleich gespa jede Spannung die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Welle geme ergaben sich dafür fast genau dieselben Werthe, die aus den beka nungen und dem bekannten Gewichte und der Länge der Schnur nung hervorgingen.

492. Wenn an einem sehr langen, gespannten Fad sache der Wellenbildung fortdauert, in der Weise, dass *a* in demselben Augenblicke, da er zur Ruhe gekommen selben Kraft, wie eine Zeitperiode *T* vorher wieder abgel so reihet sich der fortlaufenden Welle, ohne sie zu stör telbar eine neue an. In gleicher Weise kann ein ganze einander folgender Wellen entstehen. Jedes Eleme Zuges schwingt dann in gleichen, jedoch von einen zum andern ungleichzeitigen Perioden hin und her, die Bewegung dem Faden entlang immer weiter fortscl

Die Ausweichungen der verschiedenen einer Welle angehörend aus der Lage der grössten Schwingungsgeschwindigkeit, oder a dahin gewonnenen oder wieder verlorenen Geschwindigkeiten las Hülfe der Gleichungen (I) und (II) No. 489 graphisch darstellen.

Man beschreibe zu dem Ende mit dem Radius $co = \frac{1}{2}\,cg$ (zu Pl. V), welcher die grösste Schwingungsweite eines Theilchens vo Kreis, zerlege jeden der vier Quadranten in eine gleiche Anzahl Th 4 u. s. w. und bestimme die diesen Zeitbögen zugehörigen Cosinus 2 *b* u. s. w.

Man ziehe dann die gerade Linie *ox* und theile den Längenal derselben, welcher eine ganze Wellenlänge bedeutet, in eben so Theile, wie vorher den Kreisumfang, z. B. in 12. Auf den Theil errichte man die senkrechten Lienien *oc*; 1 *a*; 2 *b* u. s. w. (welche sen der Bögen *o*, *o* 1, *o* 2 u. s w. gleich sind) über oder unter der Li dem der betreffende Cosinus mit dem positiven oder negativen Zei tet ist. Endlich verbinde man die verschiedenen Endpuncte der durch eine krumme Linie, so zeigt diese, wenn man die Zahlen 0, 1 bis 12 als die aufeinander folgenden gleichen Abschnitte der Zeit für ein beliebiges Theilchen der schwingenden Saite seine Abst Gleichgewichtslage, d. h. von der Lage der grössten Schwingungsg keit, für jede Phase der Schwingungszeit *T*. Denkt man sich aber Linie *oq* als eine Reihe aufeinander folgender materieller Puncte

ben die von diesen Puncten auf der geraden Linie errichteten und bis zur ummen Linie geführten Senkrechten, die augenblicklichen Schwingungswei- n, worin diese verschiedenen Puncte einer Welle sich gleichzeitig be- den.

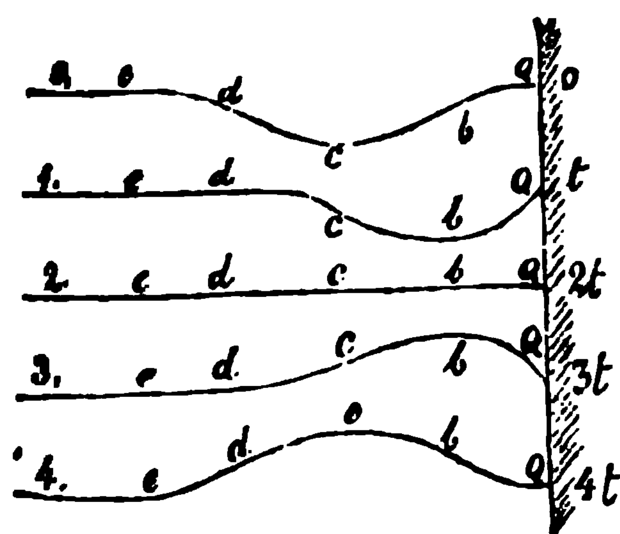
Auf ähnliche Weise lassen sich die gleichzeitigen Schwingungsgeschwin- gkeiten sämmtlicher Theile einer oder mehrerer Wellenlängen durch eine umme Linie darstellen, indem man statt der Cosinusse die Sinusse der Zeit- gen auf der geraden Linie ox als Ordinaten aufträgt. Der Radius des Thei- ngskreises ist in diesem Falle der grössten Schwingungsgeschwindigkeit eich zu setzen.

Beide Linien sind in Fig. 5, Pl. V, von gleichen Ausgangspuncten begin- nd, unter einander gestellt. Sie gestatten, das Verhältniss der Schwingungs- eite und Geschwindigkeit in jeder Schwingungsphase mit einem Blicke zu ersehen.

So sieht man, dass die grösste Geschwindigkeit mit dem Uebergange der sitiven in die negative Ausweichung, d. h. der beschleunigten in die verzö- rte Bewegung zusammenfällt, dass im Augenblicke der grössten Auswei- ungen jedesmal die Geschwindigkeit 0 eintritt u. s. w.

493. Wenn eine Welle am Befestigungspuncte Q der Schnur igekommen ist, also die Lage $Qbcde$ (Fig. 226) angenommen it, so wird sie durch den Widerstand dieses Punctes zurückge- orfen. D. h. die Bewegung wird nach bekannten Gesetzen der lasticitätslehre am Befestigungspuncte erst aufgehoben, dann mit iner der früheren, gleichen Stärke, aber im entgegengesetzten inne zurückgegeben.

Fig. 226.



Das vorderste Theilchen Q der Wellenbiegung, nämlich der Befesti- gungspunct selbst kann nicht mehr in die Bewegung hineingezogen werden und die auf denselben über- tragenen Stösse, in ihrer Rückwir- kung, haben sich nach der Zeit t $= 1/4$ der Schwingungsperiode bis zu dem Puncte b des Fadens fortge- pflanzt, in demselben Augenblicke, da dieser Punct im Verlaufe seiner chwingung an der Stelle seiner grössten Ausweichung ange- ngt ist. (Fig. 226. 1.) Das noch im Fortschreiten begriffene ellenstück cb der ursprünglichen Welle ist dadurch mit dem zu- ickgeworfenen Qb ganz zusammengefallen. Weil aber beider ewegungen entgegengesetzt und die entgegengesetzten Ge- hwindigkeiten jedes Theilchens in diesem Augenblicke gleich nd (man vergleiche Fig. 5 Pl. V), so heben sie sich wechsel- itig auf. Alle Theile des Fadenstückes Qb (1) befinden sich iher jetzt in Ruhe und im Zustande möglichst starker Ausbie- mg, während die hintere Hälfte cde der Welle in die Lage bcd langt und in aufsteigender Bewegung befindlich ist. Die Welle it die Gestallt $Qbcd$ erhalten. Die Pfeilhöhe ist die doppelte ge- m früher; die beschleunigende Kraft ist daher ebenfalls verdop-

pelt (No. 491). Gleichzeitig mit dem Puncte *c* des hintersten Wellentheiles, nämlich nach Verlauf des zweiten Viertels der Schwingungsperiode müssen daher alle Puncte der Welle in die Lage *e Q* (Fig. 226. 2) eintreten, so dass die Schnur einen Augenblick als gerade Linie erscheint, Da jedoch alle zwischen *c* und *Q* befindlichen Theile vermöge der Gestalt der Biegung fortdauernd beschleunigt wurden, so haben sie im Augenblicke der Ankunft in der geraden Linie ein Maximum der Geschwindigkeit angenommen und müssen daher ihre Bewegung auf der andern Seite fortsetzen; ganz so wie es geschehen müsste, wenn bei *b* ein Stoss von unten nach oben erfolgt wäre. Wieder nach $\frac{1}{4}$ der Schwingungsperiode oder im Ganzen nach der Zeit 3 *t*, ist dadurch die Ausbiegung *deb Q* (Fig. 226. 3) entstanden, und endlich nachdem eine ganze Schwingungsperiode verflossen ist, hat sich eine vollständige der früheren gleiche Welle über der Linie entwickelt, die dann in gewöhnlicher Weise der Schnur entlang, jetzt jedoch über derselben fortlauft. Man nennt sie die zurückkehrende oder zurückgeworfene (reflectirte) Welle. Dieselbe Erscheinung wiederholt sich dann am andern Befestigungspuncte u. s. f. bis der durch den anfänglichen Stoss bewirkte Bewegungstrieb durch Bewegungs-Hindernisse erschöpft ist. Man sieht nun, warum eine Welle, die an einer langen Schnur einmal hin und her lauft, dazu dieselbe Zeit braucht, als wäre sie am Ende einer Schnur von doppelter Länge nur ein einziges Mal angekommen. —

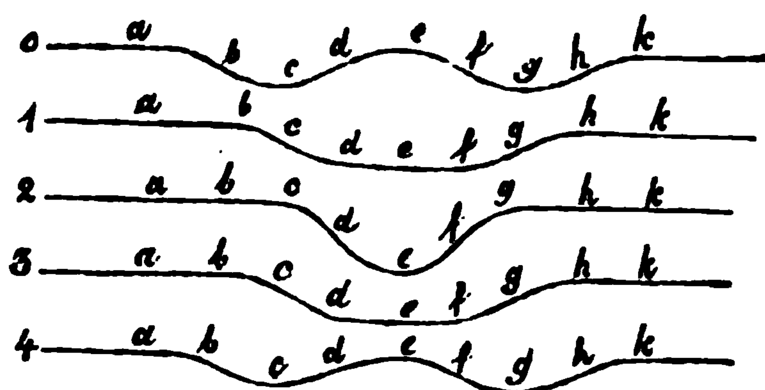
494. Da die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wellen von ihrer Stärke und Länge ganz unabhängig ist, so lange sich die Spannung und sonstige Beschaffenheit der Schnur nicht verändert, so kann eine nachfolgende Welle die ihr voreilende niemals erreichen. Wenn jedoch die erzeugende Ursache in der Nähe des einen Endpunctes *P* einer gespannten Schnur *PQ* in einer solchen Zeitfolge zur Wirksamkeit kommt, dass die neue Welle in dem Augenblicke entsteht, als die frühere an demselben Punct *P* eine zweite Zurückwerfung erfahren hat, so fallen beide Wellen zusammen und müssen sich als eine einzige verstärkte Welle fortbewegen.

Man nehme an, das gespannte Seil werde näher der Mitte erschüttert; so pflanzt sich von dem Erschütterungspuncte aus, der unmittelbar darauf wieder in Ruhe kommt, nach jeder Seite eine Welle von gleicher Stärke fort. Beide von den Befestigungspuncten zurückgeworfen, müssen dann an irgend einem Puncte *c* zusammentreffen. Von diesem Augenblicke an lauft während der Zeit einer halben Schwingungsperiode jede Welle gleichsam auf der Biegung der andern fort, bis beide in einem Augenblicke in demselben Raume zusammenfallen und eine einzige Welle von doppelter Stärke bilden. Da aber die Bewegung nach beiden Sei-

fortschreitend ist, so muss diese Welle sich alsbald wieder in früheren Bestandtheile auflösen, die dann nach entgegengesten Richtungen an dem Seile fortlaufen.

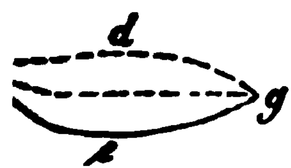
In Fig. 227 (0 bis 4) sind die verschiedenen Lagen beider Wellen im enblicke des Zusammentreffens und nach dem ersten bis letzten Viertel einer ten Schwingungsperiode dargestellt.

Fig. 227.



495. Wenn die Länge einer in der Mitte angestossenen Saite iehungsweise zur Zeit der Einwirkung nicht mehr als eine e Wellenlänge beträgt, so beginnt die Zurückwerfung von bei- Befestigungspuncten, bevor sich die Welle in ganzer Ausdehng entfalten konnte; und in demselben Augenblick, da der anstossene Punct seine grösste Ausweichung vollendet, d. h. nach Zeit einer halben Schwingungsperiode, hat sich auch der Ein- der Reflexion von beiden Seiten her wieder bis zu diesem ncte fortgepflanzt. Alle Theile der Saite mussten daher, jeder der Gränze seiner möglichen Ausbiegung zur vorübergehen- Ruhe gelangen. Unmittelbar darauf beginnen alle gleichzeitig Rückbewegung, und erreichen, ganz so wie es das Gesetz der lenfortpflanzung erfordert, nach der Zeit t, d. h. nach dem vierTheil der Zeit einer Schwingungsperiode die Gleichgewichts- ag (Fig. 228). Weil sie aber während der Rückkehr in diese

Fig. 228.



Lage fortwährend beschleunigt worden sind; so müssen sie ihre Bewegung auf der andern Seite der Linie ag mit der erlangten Geschwindigkeit wieder fortsetzen; bis sie wieder nach der Zeit t in der Lage adg von Neuem zur Ruhe men. Eine halbe Schwingungsperiode später befindet sich die wieder in der Lage aeg, und abermals nach der Zeit $2t$ in Lage adg u. s. f. Man sieht, die Schwingungen sind stehend orden.

Die Zeit einer Hin- und Herbewegung, oder die Zeit einer ten Schwingungsperiode einer transversal schwingenden annten Saite ist also wie bei den fortschreitenden Schwinen (491)

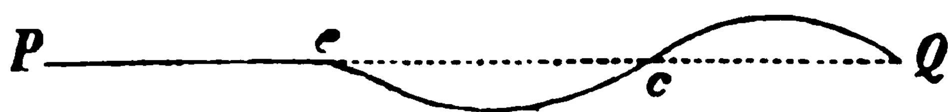
$$4\,t = T = 2\,l\sqrt{\frac{f\,s}{g\,P}}$$

wo $l = ag$, die Länge der Saite, oder die Hälfte einer Wel länge bedeutet.

Dieses Gesetz gilt für biegsame gespannte Fäden und Saiten alle z. B. für Klavier- und Violin - Saiten u. s. w. Alle diese vollbringen als Hin- und Herbewegung in derselben Zeit, in welcher sich der Eindruck Erschütterung von einem Befestigungspuncte zum andern und wieder z bewegen kann.

496. Die Linie PQ (Fig. 229) mag eine gespannte Schnu nicht weniger als 10 bis 15 Fuss Länge vorstellen. Eine

Fig. 229.



von der Länge Qe, in der Richtung von P nach Q laufend, sei a Befestigungspuncte Q angekommen, hier zurückgeworfe eine halbe Schwingungsperiode später eben im Begriffe sic die Linie zu erheben, als der vorderste Punct einer nachfolg gleich starken Welle den (in demselben Augenblicke zur Ru kommenen) Punct c erreicht. Dieser Punct nunmehr von gleic ken Kräften in entgegengesetztem Sinne gezogen, muss in der lage verharren und verhält sich daher gegen beide Wellen w fester Punct, d. h. beide werden von demselben zurückgew Gesetzt, in dem Augenblicke, da beide Wellen in Folge der Z werfung durch die Linie PQ schwingen, werde auch der e festgehalten, so kommen beide zum Stehen, ohne dass de c, weil er fortdauernd von gleichen und entgegengesetzten ten gezogen wird, an ihrer Bewegung Theil nehmen kann.

Hat man mehrere Wellen, oder einen ganzen Zug se einander erzeugt, dass immer eine um den Abstand einer g Wellenlänge hinter der andern zurück ist, so wird sich jede die ihr vorhergehende auf ähnliche Weise verhalten. Die Schnur muss dadurch in eine Anzahl Abtheilungen zerfall je durch einen unbeweglichen Punct, einen sogenannten tenpunct getrennt, Hin- und Herbewegungen, st Schwingungen, abwechselnd über und unter die Linie vollbr Alle diese Knotenpuncte stehen gleich weit von einander a der Abstand je zweier derselben kommt dem einer halben W länge gleich.

Fig. 230.



Ein schlaff gespanntes Seil o schraubenförmig gewundener Draht lä bei einiger Uebung in der Anstellung e suchs leicht in einfache Schwingung setzen oder auch nach Willkühr in zw

mehr stehende Wellen, je zwei durch einen Knotenpunct getrennt, legen. Fig. 230 stellt ein Seil vor, an welchem drei durch die Knotenncte c und e stehende Wellen gebildet sind.*)

In ähnlicher Weise wird jeder gespannte Faden durch die Reflexionen eines von gebildeten Zuges gleich grosser Wellen allmählig genöthigt, in eine ssere oder geringere Anzahl gleicher Abtheilungen zu zerfallen, welche rch Schwingungsknoten getrennt sind und in gleichen Perioden hin und her wingen. Bei stark gespannten Schnüren und Saiten von geringer Dicke sst sich zwar die Erscheinung nicht mehr mit dem Auge verfolgen. Der weis kann aber, wie wir später sehen werden, dennoch mit gleicher herheit durch die Beschaffenheit der dadurch entstehenden Töne geführt rden.

496. Angenommen, eine vom Puncte Q (Fig 231) zurückworfene Welle ae stosse mit einer später erzeugten gleich-

Fig. 231.



rken Welle Ke am Puncte e zusammen, der von den Endpunc- P und Q der Schnur so weit entfernt liegt, dass beide Wellen Augenblicke ihres Zusammentreffens vollständig entwickelt d.

Da beide nach Voraussetzung von gleicher Stärke sind, so mögen sie den Punct e nicht in Bewegung zu setzen und müsn also an demselben abprallen, Die bisher unter der Linie PQ schreitende wirft sich während der Zeit einer ganzen Schwingsperiode auf die obere Seite, und genau in derselben Zeit langt die vorher ober der Linie befindliche unter dieselbe. Dann men beide ihren Rückweg; dergestalt, dass es ganz den Anein hat, als ob beide Wellen, ohne sich wechselseitig zu stö, an einander vorübergegangen wären. Im Augenblicke des schriebenen Wechsels in der Lage der Wellen, verschwindet die gung der Schnur, wie wenn beide Wellen sich wechselseitig nichtet hätten. In der That ist aber nicht die Bewegung, sonn nur auf einen Augenblick die Biegung aufgehoben.

Sind beide zusammenstossende Wellen von ungleicher Stärke, wird der Punct e nur durch ihren Unterschied in Bewegung gezt. Man kann sich dann die stärkere Welle ace aus zwei Wel zusammmengesetzt, vorstellen, von welchen die eine der lle Kge gleich und entgegengesetzt ist; so dass beide sich

*) Weber (Wellenlehre S. 468) empfiehlt das an einem Ende befestigte l am andern mit der Hand zu fassen. Am besten gelingt der Versuch, wenn ses Ende nicht blos in einer Ebne aufwärts und abwärts, sondern mehrmals Kreise herumgeführt wird. Man sieht dann Wellen entstehen, die allmählig stehende Schwingungen übergehen. Die Anzahl Schwingungsknoten hängt der Stärke der Spannung und der Schnelligkeit der Umdreg ab.

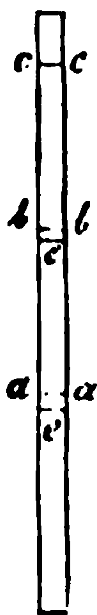
wechselseitig zurückwerfen müssen. Dagegen der Ueberschuss der Welle *ae* schreitet ungestört fort, dergestalt, dass er nach der Zeit einer ganzen Schwingungsperiode mit der zurückgeworfenen Welle $Kg'e$ zusammenfallen und diese verstärken muss. Das End-resultat der wechselseitigen Einwirkung beider ursprünglichen Wellen ist also wieder von der Art, wie wenn beide ungestört an einander vorüber gegangen wären.

Die Erscheinungen des Zusammentreffens und Uebereinander-fallens verschiedener Wellen, wodurch sich dieselben an gewissen Stellen bald wechselseitig verstärken, bald theilweise oder ganz aufheben können, ohne dass die wirkliche Grösse der vorhandenen lebendigen Kraft dadurch eine Aenderung erleidet, nennt man **Interferenzen**. Der Uebergang einer fortschreitenden Welle in stehende Schwingungen beruht auf einer Interferenz derselben mit reflectirten Wellen.

Körper, welche schon durch innere Steifigkeit elastisch sind, wie Glasfäden, Metalldrähte, Stäbe, Röhren, besitzen, ähnlich wie die gespannten Saiten, die Fähigkeit, Querschwingungen fortzuleiten. Die Gesetze dieser Schwingungen sind jedoch viel verwickelter als die der biegsamen fadenförmigen Körper und eignen sich nicht für die elementare Erläuterung.

497. **Fortschreitende Längenschwingungen.** — Wenn eine elastische Säule von beliebigem Stoffe in der Richtung der Länge gezogen oder gedrückt wird, so pflanzt sich die an der Stelle der ersten Einwirkung eintretende Veränderung durch Längenschwingungen fort.

Fig. 232.



Sei *ac* (Fig. 232) ein Stück einer sehr langen elastischen Säule, deren Querschnitt gleich der Flächeneinheit. Die Elasticität des Stoffs innerhalb der Gränzen der äusseren Einwirkungen sei vollkommen, und E der Modulus derselben. Ein angehängtes Gewicht E würde also die Längeneinheit aufs doppelte ausziehen können. Durch einen Bruchtheil dieses Gewichtes, δE würde die Länge 1 um δ, eine beliebige Länge l um δl vergrössert werden. Angenommen die Kraft δE wirke, sei es dehnend oder verdichtend, nur vorübergehend während einer Zeit t, und der Eindruck ihrer Wirksamkeit pflanze sich in dieser Zeit um die Länge $ab = l$ fort. — Man denke sich das Stück l der Säule in n *) gleich hohe Schichten abgetheilt und eben so die Zeit t in n gleiche Unterabtheilungen gebracht. In dem ersten dieser Zeittheilchen beginnt die Bewegung der ersten Schicht. Der hierdurch gebildete Spannungszustand der ersten Schicht äussert sich als bewegende Kraft auf die zweite, so wird diese in dem zweiten Zeittheilchen in die Bewegung

*) n bedeute eine so grosse Zahl, dass die Höhe jeder Schicht, dem Abstande von einem Atome zum andern gleich kommt.

n, während die erste unter der fortdauernden Einwirkung ıft δE von Neuem beschleunigt wird, also sich stärker und gemäss dieser Spannung im dritten Zeittheilchen auf eite Schicht gerade so beschleunigend einwirkt, wie sie im zweiten Zeittheilchen beschleunigt wurde. Derselbe Begszustand, welchen die erste Schicht im zweiten Zeiten angenommen hatte, wird dadurch im dritten Zeittheiler zweiten Schicht eingeprägt. Gleichzeitig gewinnt die Schicht die Bewegung der ersten im ersten Zeittheilchen r zweiten im zweiten u. s. f. bis endlich nach Verlauf der die $n$te Schicht von der Bewegung in demselben Augenergriffen wird, da die erste Schicht mit der grössten Spanwelche der Kraft δE das Gleichgewicht hält, zugleich ihre Geschwindigkeit angenommen hat. Die Wegeslänge l, um sich auf diese Weise der erste Eindruck in der Zeit t fortızt hat, hängt für eine gegebene gleichartige Säule durchr von dieser Zeit der äusseren Einwirkung ab und ist ganz ıngig von der Beschaffenheit des Werthes δ. Denn wenn δ nt, so vergrössern sich zwar die spannenden Kräfte, welche inander die verschiedenen Schichten erfassen, aber da in ben Verhältnisse auch die Räume zunehmen, durch welche chicht sich bewegen muss (zu vergleichen No. 475), so adurch die Anzahl Schichten, d. i. die Länge des Säulen-, welche in derselben Zeit in die Bewegung gezogen wird, erändert werden. Diese Wegeslänge l wird sich hiernach lann nicht ändern können, wenn δ einen im Laufe der Zeit derlichen Werth besitzt.

e Geschwindigkeit womit die Erschütterung gleichförmig kt, ist daher $V = \frac{l}{t}$.

e ganze Veränderung, z. B. Dehnung, welche das Säulen- unter dem Einflusse der Kraft δE erfahren kann, beträgt, en gezeigt wurde, δl. Diese Dehnung ist aber zu Ende des ıchnittes t nicht erreicht, denn nur die erste Schicht $\frac{1}{n} l$ reits die ganze derselben entsprechende Spannung und ı die Verlängerung $\frac{1}{n} \delta l$ erlitten. Gesetzt, der Weg den ırschnittsfläche aa (Fig. 232) vermöge der abnehmenden ıgen sämmtlicher n Schichten des Säulenstücks ab zurückhat, sei ae. Einen Zeitraum t später hat sich der ganze ungszustand von $ab = l$ auf $bc = l$ übertragen. D. h. c t eben beschleunigt zu werden, bei b ist die grösste Geıdigkeit bereits eingetreten, der Querschnitt bb hat mit zu-

nehmender Geschwindigkeit einen Raum $be' = ae$ beschrieben. Vermöge gewonnener Geschwindigkeit setzte unterdessen aa seine Bewegung fort; da jedoch (nach Voraussetzung) das Uebergewicht der äusseren Einwirkung jetzt aufgehört hat, so wirkt der Unterschied der Spannung der ersten und zweiten Schicht verzögernd auf die Bewegung der ersten. Ihre Geschwindigkeit nimmt daher ab, während die der zweiten Schicht in dem nächsten Zeittheilchen $\frac{1}{n}t$ noch zunimmt und das Maximum erreicht. Dann beginnt auch bei der zweiten Schicht die Verzögerung und bei der ersten währt sie fort u. s. w. Am Ende der Zeit $2\,t$ ist dieser verzögernde Einfluss bis zum Puncte b fortgeschritten und die Bewegung der ersten Schicht ist vollständig zernichtet worden, nachdem diese von Neuem einen Raum ae zurückgelegt hatte. Der Zustand des Säulenstücks ab ist in diesem Augenblicke offenbar der umgekehrte von vorher. Alle Theile desselben befanden sich am Schlusse der Zeit t in beschleunigter Bewegung, jetzt ist bei allen Verzögerung eingetreten. Noch sind sie zwar gespannt, aber die stärkste Spannung herrscht bei b, wo sie vorher Null war, und bei a hat sie eben aufgehört.

Die Fläche aa hat in der Zeit $2t$ im Ganzen, theils beschleunigt, theils verzögert, den Weg $2.ae$ beschrieben. Sämmtliche Schichten von l haben unterdessen nach einander das Maximum ihrer Dehnung erfahren, somit je eine Senkung der Fläche aa von der Grösse $\frac{1}{n}\,\delta l$ bewirkt; $2.ae$ ist der Ausdruck der Summe dieser Wege. Es ist daher $2.ae = n.\frac{1}{n}\,\delta l = \delta l$. Die Fläche aa legt also zuerst mit beschleunigter Bewegung den Raum $\frac{\delta l}{2}$ und dann den gleichen Raum mit verzögerter Bewegung zurück, und diese Bewegung pflanzt sich mit der Geschwindigkeit V von Schicht zu Schicht allmählig durch die ganze Säule fort. —

Ein Stück $ac = 2l$ der elastischen Säule, dessen Schichten gleichzeitig an dieser fortschreitenden Bewegung Theil nehmen, wird, je nachdem dieselbe von Verdichtung oder Verdünnung begleitet ist: eine Verdichtungs- oder eine Verdünnungs-Welle genannt. Ihre Länge $2l$ hängt von der Dauer der Einwirkung ab, ihre Stärke, d. h. die Grösse des Weges δl, welchen jede Schicht zurücklegen muss, von der Grösse der Kraft δE. —

Wenn die Ursache dieser Wellenbildung mit gleicher Stärke fortwirkt, aber abwechselnd im Sinne der Dehnung und Verdich-

;, so muss die Fläche *aa* unmittelbar nachdem sie zur Ruhe
ommen war, ihren Lauf rückwärts beginnen. Sie wird dann
er derselben Zeit ($2t$) wie vorher den Weg δl, vorher im
ne der Dehnung, jetzt im Sinne der Verdichtung beschreiben,
l der erste Eindruck dieser Verdichtung wird auf die Länge $2l$
geschritten und bei der Schicht *cc* (Fig. 232) angekommen
, eben nachdem die letzte Spur der vorhergehenden Dehnung
lerselben Schicht verschwunden war. Auf diese Verdichtungs-
lle folgt dann wieder eine Verdünnungswelle u. s. w. Eine
he aufeinander folgender Wellen dieser Art, bilden einen Wel-
zug. Eine Verdichtungswelle und eine Verdünnungswelle zu-
mengenommen nennt man gewöhnlich eine **ganze Welle**,
n Länge hiernach $4l$ beträgt und der Fortpflanzungszeit $4t = T$
pricht. D. h. jeder durch ein Stück $4l$ der Säule geführte
rschnitt macht in der Zeit T den Weg δl einmal hin und ein-
wieder zurück.

Die Spannung der einzelnen Schichten, welche zusammen
verdichteten oder den verdünnten Theil einer ganzen Welle
en, wächst vom vordersten Puncte bis zur Mitte, wo sie der
zen Grösse der Kraft δE entspricht und mindert sich dann wie-
nach dem Ende hin. Die jedesmalige Spannung einer Schicht
eichnet aber nicht ihre bewegende Kraft; letztere entspricht
mehr dem Unterschiede der Spannung der vorhergehenden
l nachfolgenden. Diese Unterschiede sind positiv in der vor-
ren Hälfte, negativ in der hinteren Hälfte der betrachteten Wel-
abtheilung und verschwinden in der Mitte. Jede Schicht über-
gt die Spannung, welche sie während eines Zeittheilchens
$\frac{1}{n} t$ besass, auf die folgende und empfängt dafür die der vor-
gehenden. Jede Schicht wird also im Laufe der Zeit t durch
Spannungs-Unterschiede beschleunigt, welche gleichzeitig
r ein Stück l der Säule, oder ein Viertel der ganzen Wellen-
e vertheilt sind und deren Summe der Spannung δE gleich-
mt. Der Mittelwerth der Beschleunigung einer beliebigen
icht im ersten Viertel t ihrer Schwingungsperiode, oder
Mittelwerth ihrer Verzögerung im zweiten Viertel beträgt
r:

$$G = g \frac{\delta E}{l s}$$

s das Gewicht der Kubikeinheit des Stoffes bedeutet.

Da jede Schicht nach und nach durch alle den verschiedenen
nnungsunterschieden zugehörige Beschleunigungen getrieben
, und zwar von jeder durch die Zeit $\frac{1}{n} t$, so ist es gerade

so, als würde sie während der ganzen Zeit t durch den Mit werth G beschleunigt. Die grösste Geschwindigkeit einer Sch ist demnach:

$$Gt = g\frac{\delta E}{l s}t.$$

Es ist aber auch, wenn man bedenkt, dass die Schicht i dem Antriebe der mittleren Beschleunigung den Weg $\frac{\delta l}{2}$ zu legen muss:

$$Gt = \sqrt{2g\frac{\delta E}{ls}\frac{\delta l}{2}} = \delta\sqrt{g\frac{E}{s}}$$

Beide Werthe von Gt einander gleich gesetzt und reducirt det man:

$$t = l\sqrt{\frac{s}{gE}} \quad \text{also } T = 4\,l\sqrt{\frac{s}{gE}}$$

und die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Bewegung be durch fortschreitende Längenschwingungen:

$$V = \frac{l}{t} = \sqrt{\frac{gE}{s}}.$$

Die Geschwindigkeit, womit Dehnung oder Zusammen kung durch eine elastische Säule von beliebigem Stoffe sich pflanzen, verhält sich direkt wie die Wurzel aus dem Elastic Coefficienten, und umgekehrt wie die Wurzel aus der Dicht des Stoffes.

Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Bewegung ist am grössten in solchen Körpern, die bei geringer Dichtigkeit nur wenig zusammendrücken lassen. In einer Masse, die unzusammendrückbar wäre, müsste sich jeder äussere Eind augenblicklich bis auf unendliche Entfernung fortpflanzen.

Der Quotient $\frac{E}{s}$ bedeutet die Länge einer Säule von chem Gewichte, dass dadurch der oberste Zoll auf die dop Länge ausgezogen werden müsste (N. 477). Man kann daher sagen: die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Drucks in elastischen Säule von beliebiger Dicke verhält sich wie die zel aus einem Längenstücke derselben, durch dessen Gewicht oberste Zoll zur doppelten Länge ausgezogen werden müsste

Dieses Gesetz gilt für elastische Körper aller Art und für Flüssigkeiten, wenn für E deren Elasticitätsmodulus und s ihr spec. Gewicht gesetzt wird.

498. Dasselbe Gesetz, welches für Säulen erwiesen ist, aber auch für beliebig gestaltete gleichartige Körpermassen w

ch darin die Bewegung, von einem gewissen Puncte aus-nach verschiedenen Richtungen ausbreitet. Denn da die ndigkeit nicht von der Stärke des Eindrucks, oder von der les Weges, welchen die einzelnen Schichten zurücklegen abhängig ist, so kann dieselbe dadurch nicht verändert dass bei zunehmender Entfernung von dem Ausgangs-zunehmende Massen bewegt werden müssen, also die ler Einwirkung auf jedes einzelne Theilchen mehr und nimmt.

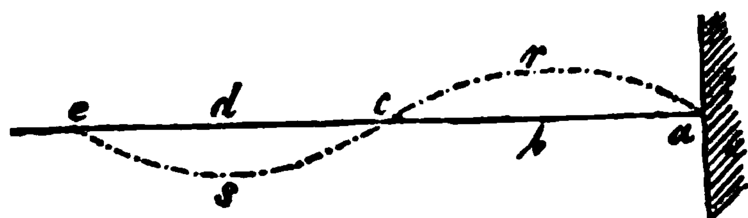
eine Masse, wie z. B. das Wasser oder die Luft, nach chtungen gleich elastisch, so pflanzt sich auch eine darin e Erschütterung nach allen Richtungen mit gleicher Ge-igkeit fort. Die darin gebildeten elastischen Wellen sind t Kugelschaalen zu vergleichen, die den Erschütterungs-nct concentrisch umschliessen und bei stets gleichbleiben-e immer grössere Umfänge erhalten.

Körpern die, wie die meisten Krystalle, nach verschie-ichtungen eine ungleiche Dehnbarkeit besitzen, pflanzt r Stoss nach den verschiedenen Seiten mit ungleicher indigkeit fort, so dass verschiedene Puncte einer nasse, an welchen der Eindruck gleichzeitig ankommt, m Erschütterungsmittelpuncte in ungleichen Abständen

e durch die Puncte der gleichzeitigen Ankunft der Welle Fläche heisst **Wellenfläche**.

. **Zurückgeworfene Längenwellen.** — Längen-chreiten in der vorher beschriebenen Weise fort, so lange Mittel nicht ändert, worin sie sich bewegen. Gesetzt aber iner elastischen Säule, z. B. in einem Stabe von Metall, r Holz erregte Welle, sei am Ende desselben angekom-'ir wollen annehmen, dieses Ende *a* (Fig 233) sei be-etwa in einem Schraubstocke eingeklemmt und der ver-Theil der Welle gehe voran. Die krumme Linie *arcse* Phasen der Geschwindigkeiten andeuten in welchen ver-schiedene Theile des Stabs sich in diesem Augenblicke befinden. Der Vordertheil *ab* der verdünnten Wellen-hälfte, indem er an dem Befestigungspuncte

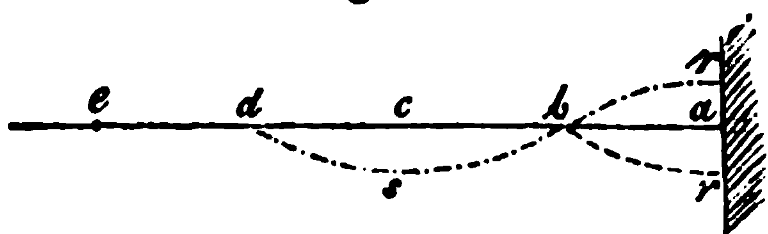
Fig. 233.



, verliert stufenweise seine Bewegung, empfängt sie ch elastischen Gesetzen im entgegengesetzten Sinne zu-odurch eine neue, der früheren an Beschaffenheit ganz Welle von *a* gegen *b* vorrückt und den Punct *b* nach der-'eit (*t*) ergreift, nach deren Verlauf der Hintertheil *bc* der

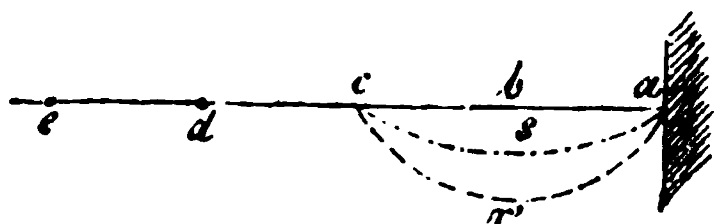
verdünnten Wellenhälfte in die Stellung *ba* eingerückt ist.
Schicht des Stückes *ab* müsste jetzt zwei an Grösse gleich
Richtung nach entgegengesetzte Geschwindigkeiten ang
men haben. Alle kommen daher in diesem Augenblicke zur
aber alle befinden sic
im Zustande der A
nung, welche bei *a*
ihr Maximum erreicl
bei *b*, dem Ueber
puncte zur Verdicl

Fig. 234.



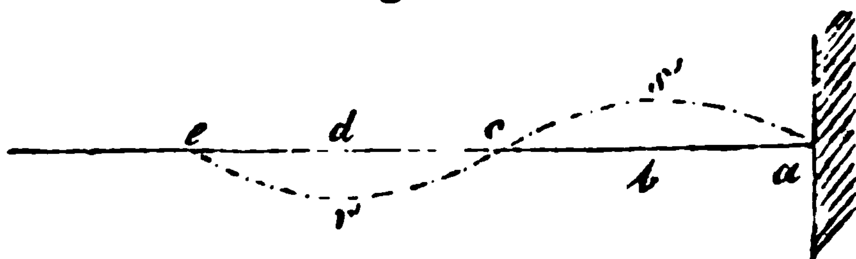
welle, wieder 0 ist. Vermöge dieser Spannung werden gl
tig alle Theilchen des Stückes *ba* in der Richtung von *b* g
gezogen, und die hieraus hervorgehende Bewegung hat si
Ablauf des zweiten Viertels der Schwingungsperiode (d.
Beginne der Zurückwerfung gerechnet, nach der Zeit $2t$) I
Puncte *c* (nämlich $cb = ab = l$) fortgepflanzt; dem Pun
seine grösste Schwingungsgeschwindigkeit eingeflösst; (
dünnte Wellenhälfte ist nunmehr vom Befestigungspunc
ständig zurückgeworfen. Alle Theile der Länge *ac*, welc
im Augenblicke des Anstosses der Welle im Sinne von *a*
bewegten, bewegen sich jetzt, eine halbe Schwingungs
später, von *c* nach *a*. Unterdessen ist aber auch die ver
Wellenhälfte am Befestigungspuncte angelangt, oder in die S
ca (Fig. 235) eingerückt. Die durch die zurückgeworfe
dünnte Wellenhälfte be
Dehnung, so wie die de
folgenden verdichteten V
hälfte entsprechende Z
mendrückung, die beide i
selben Raum fallen, s
sich wechselseitig aufheb

Fig. 235.



natürliche Spannung der Theilchen ist hergestellt. Zugleich
sich aber ihre Schwingungsgeschwindigkeiten verdoppel
die Bewegung der Theilchen bei beiden in einander getre
Wellenhälften nach derselben Richtung, von *c* gegen *a*, ge
Durch die Fortdauer dieser Bewegung verdichten sich di
schen *c* und *a* liegenden Theilchen, die zwischen *c* und *e* l
den werden allmählig mit in die Bewegung gezogen und s
sich ausdehnen. So kommt es, dass am Schlusse der g
Schwingungsperiode, eine Dehnungswelle, mit einer der fr
entgegengesetzten
wegungsrichtung,
lich von *c* nach
schreitend, in de
ec (Fig. 236), v
dig entwickelt en
während der verd

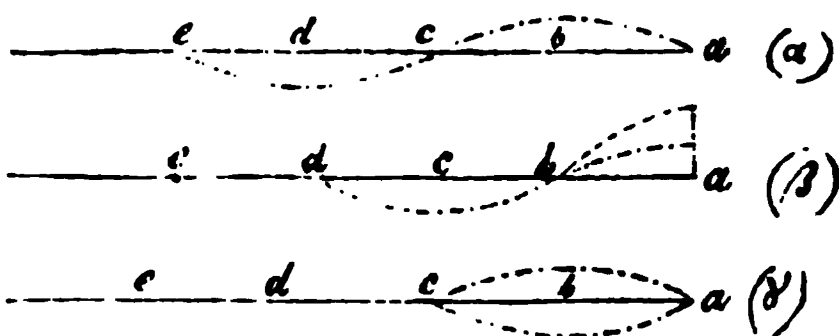
Fig. 236.



l, in ähnlicher Weise wie vorher der verdünnte, vom urückgeworfen, zur Bildung einer neuen Verdichtungs- die Veranlassung gegeben hat. Beide Wellenhälften forthin ungestört und in derselben Ordnung wie früher andere Ende des Stabs.

ıt die Welle am freien Ende des Stabes an, so wird sie ı zurückgeworfen. Jedoch ist der Vorgang verschie- freie Ende *a* (Fig. 237 *α*) ist nämlich nicht gehindert, ıe in alle Phasen der Schwingungsgeschwindigkeit inzutreten. Da es aber dieselbe nicht weiter vorwärts ı kann, und dadurch ein Streben erhält, die in einem be- ugenblicke in der Richtung von *a* gegen *c* erhaltene Be- ı der folgenden Zeit fortzusetzen, so wirkt es verdich- ie hinter ihm liegenden, bisher ausgedehnten Schichten. ginnende Verdichtungswelle schreitet gegen *b* (Figur r und hat diesen Punct erreicht, wenn der unterdessen

Fig. 237.



fortgeschrittene Hintertheil der Dehnungswelle am End- ıngekommen ist. Verdichtung und Dehnung des Stückes sich dadurch aufgehoben. Weil aber die Bewegungen llentheile, die nunmehr in dem Stücke $ab = l$ überein- agen sind, gleiche Richtung haben, so sind die Schwin- chwindigkeiten sämmtlicher Schichten verdoppelt wor- verdichtende Einwirkung dauert daher fort und ist bis le c (Fig. 237 *γ*) vorgerückt, eben da die nachkommende ıgswelle dieselben Schichten und in gleichen Phasen hat. Beide entgegengesetzten Bewegungen haben sich ollständig aufgehoben. Alle Theile des Stückes *ac* be- h in Ruhe, aber zugleich im Zustande doppelter, bei *b* ihr erreichender Zusammendrückung. Es muss also eine ung von *b* zugleich gegen *a* wie gegen *c* eintreten. D. h. hteten Schichten dehnen sich, bei *a* beginnend, wieder aus, ndererseits die Verdichtung von *c* gegen *e* hin fortschreitet. ıst nun leicht, dass der am Puncte *a* anstossende ver- Vellentheil durch die Zurückwerfung als Verdünnungswelle rscheint und dass die ganze Welle eine volle Schwin- ede nach ihrer Ankunft am freien Ende, vollständig, aber

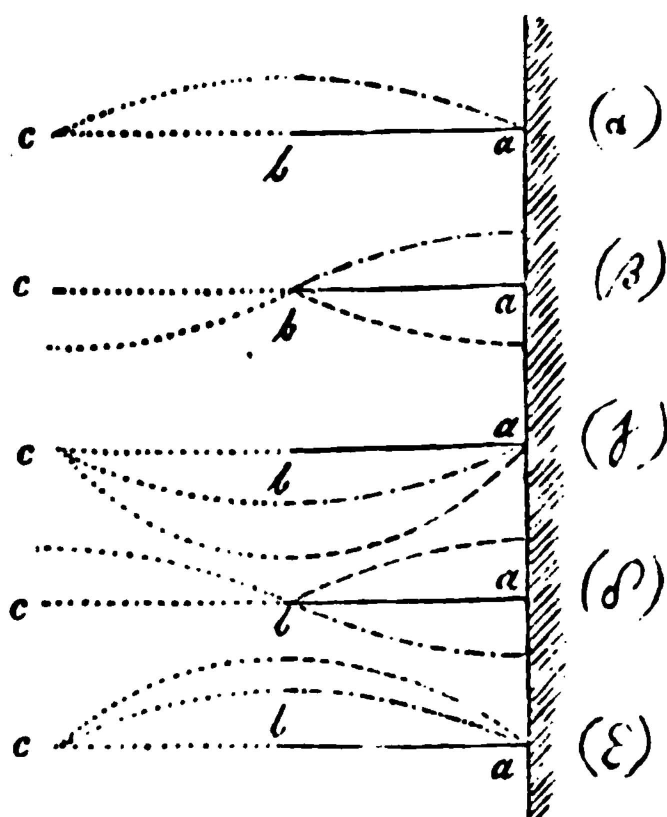
jetzt in verkehrter Ordnung wieder gebildet ist. War vo
verdünnte Theil voran, so ist es jetzt der verdichtete Tl
umgekehrt.

Die am befestigten oder freien Ende einer elastisch
anstossende Welle kann in der Regel nicht vollständig z
worfen werden; weil die Körper, welche beide Endpuncte
zen und den Stoss aufnehmen müssen, nicht absolut fest
elastisch sind. Ein Theil der Bewegung dringt daher in ih
ein, mehr oder weniger, je nach der Grösse ihrer Dichti
elastischen Widerstandsfähigkeit, und pflanzt sich durch
fort. So dient die schwingende Bewegung der elastisch
an ihren Endpuncten, als Ursache der Wellenbildung in
gränzenden Mitteln.

Da jede wiederholte Zurückwerfung der Welle von d
der Säule eine ähnliche Wirkung hat, so begreift man lei
rum die Stärke einer hin- und herlaufenden Welle sehr sc
nehmen muss, wenn die erzeugende Ursache nicht in d
Thätigkeit bleibt.

500. Stehende Längenschwingungen. W
elastischer Stab $ab = l$ (Fig. 238), im Vergleiche zur
äusseren Einwirkung so kurz ist, dass die erste Häl
Dehnungswelle (welche einem von b gegen a eindri
Wellenzuge zugehören mag) bereits den festen Endpunct a
und ihre Zurückwerfung begonnen hat, da die zweite H
freien Anfangspunct b erfasst, so ist (499) nach der
zurückgeworfene Vordertheil mit dem bis an den Punct
schrittenen Hintertheil v
zusammengefallen. Alle T
sind gleichzeitig zur Ruhe
alle befinden sich in einem
gen a wachsenden Span
stande (Fig. 238 β), in d
Augenblicke, da die der z
gedrungenen Dehnungswe
folgende Verdichtungswel
Einfluss auf den Punct b zu
beginnt. Die alsbald an all
ten des Stabs gleichzeitig
beginnende Bewegung wür
der Stab länger wäre, am
des Zeitraumes $2t$, bis zu
c, ($cb = ba$ Fig. 238 γ)
drungen und die zurückl
Dehnungswelle dadurch vollständig hergestellt sein. Unt
ist aber auch die Verdichtungswelle, mit welcher sich
der vom freien Ende b als Verdichtungswelle zurückge

Fig. 238.



»rtheil der Dehnungswelle vereinigt hat und dadurch ausser cht kommen kann, bis nach *a* vorgerückt. Beide Wellen fallen : in einander; die Theilchen treten in ihren natürlichen Spanszustand zurück, während ihre Schwingungsgeschwindign sich verdoppelt haben.

Nach Ablauf des Zeitraumes $3t$, (δ) ist die zurückgewor-Dehnungswelle ganz aus dem Umfange des Stabs herausge-ı, der Vordertheil der Verdichtungswelle, bei *a* reflectirt, ist einem Hintertheil zusammengefallen. Die Theilchen befinden in Ruhe und im Zustande der Verdichtung.

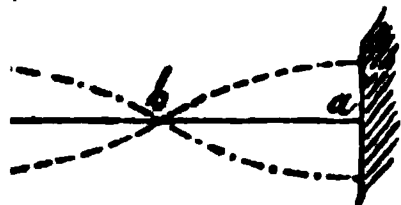
Nach Ablauf des Zeitraums $4t$, ist eine neu eintretende Dehswelle bis zum Puncte *a*, (ε) vorgerückt und mit der von m Puncte zurückgeworfenen Verdichtungswelle zusam-;efallen. Abermals befinden sich die Theilchen gleichzeitig em natürlichen Spannungszustande; ihre Bewegung mit ver-»lter Geschwindigkeit ist aber jetzt von *a* gegen *b* gerichtet. ch, nachdem ein fünfter Zeitraum t verflossen, hat auch die chtungswelle den Stab ganz verlassen. Die zweite Dehswelle ist zur Hälfte reflectirt, die Theile befinden sich sämmtim ausgedehnten Zustande und in Ruhe wie bei (β). — Es lzt leicht zu sehen, dass wenn der Zug eindringender Wellen eine ihre Wirksamkeit ersetzende periodische Einwirkung nselben Weise fortdauert, dasselbe Spiel sich wiederholen ı. Die Schwingungen sind stehend, und allemal in Zeiträumen er Zeit $4t$, in welcher die Welle um eine ganze Wellenlänge ickt, wiederholen sich gleiche Zustände. Die Zeit einer Hinlerbewegung des oscillirenden Stabs ist daher:

$$4t = T = 4l\sqrt{\frac{s}{gE}}; \quad (497)$$

lbe Betrachtung gilt natürlich für jedes elastische Mittel, welin Stab- oder Säulenform, stehende Längenschwingungen vollt.

st eine elastische Säule an beiden Endpuncten fest, so köngleichwohl stehende Schwingungen in derselben erzeugt en, indem der z. B. in der Mitte einwirkende Druck, nach dem Ende *c* als Verdichtungswelle, nach dem andern *a* als Dehswelle fortschreitet. Die in dem vorhergehenden Falle an »efestigten Endpuncte nach einander eintretenden Wirkungen, n sich nun gleichzeitig an den Puncten *a* und *c* (Fig. 239); während der Mittelpunct *b* für beide Hälften der Säule gleichsam als freies Ende zu betrachten ist, indem er sich abwechselnd gegen *a* und wieder gegen *c* bewegt, und die grösste Geschwindigkeit

Fig. 239.



der Bewegung annimmt, ohne dabei eine Aenderung in ner natürlichen Dichtigkeit zu erfahren; weil er von b Seiten immer durch gleichgerichtete und an Grösse gl Kräfte getrieben wird.

Eine elastische Säule, welche genöthigt ist, stehende Sc gungen zu vollenden, kann auch Knotenpuncte erhalten, solche Stellen, die, gleich den Befestigungspuncten, k Antheil an der Bewegung nehmen, aber abwechselnd Zunahme und Abnahme der Dichtigkeit erleiden, währe zwischen je zweien dieser Stellen liegenden Stücke g zeitig schwingen und in der Mitte einen Punct grösster Sc gungsgeschwindigkeit bei unveränderlicher Dichtigkeit schliessen.

Gestützt auf die vorhergehenden Erläuterungen, lasse die Stellen, an welchen möglicherweise Schwingungs-Knote stehen können, sogar voraussehen. So wird man bei ei Nachdenken finden, dass eine an beiden Enden durch feste W stände begränzte elastische Säule, durch die Schwingungsk immer in eine Anzahl gleich langer Stücke getheilt werden und dass sie folglich nur an solchen Stellen Knoten erhalten deren Abstand von dem nächsten festen oder Knotenpunct eine ganze Anzahl Mal in die Länge der Säule eintragen Man wird eben so leicht finden, dass eine elastische Säul an einem oder an beiden Enden frei ist, einen Knotenpunct in Entfernung vom freien Ende erhalten kann, die nur halb so ist, als die Entfernung dieses Knotenpunctes von dem folge insofern ein zweiter noch vorhanden ist. Z. B. der elastisch beiden Enden freie Stab hq kann einen einzigen Knoten im puncte b, oder auch zwei Kn an den Stellen a und e aber zugleich einen dritten in nehmen.

Fig. 240.



501. Längenschwingungen in gespannten fa förmigen Körpern. — In gespannten Fäden und Saiten nen neben den Querschwingungen auch Längenschwing erzeugt werden, welche mit Beziehung auf die durch Spa künstlich entwickelte Elasticität dieselben Gesetze befolgen die Längenschwingungen in elastischen Säulen, in Bezieh deren natürliche elastische Kraft. Es sei P die Spannung Saite; α die dem spannenden Gewichte proportionale Del für die Längeneinheit. Einem beliebigen Zuge δP ents also die Dehnung $\delta\alpha$, denn innerhalb der Elasticitätsgr bleibt bei gespannten Saiten, welches auch die spannende sein möge, die durch einen Zuwachs an Kraft bewirkte Dehnung diesem Zuwachse selbst proportional. Der Aus

entspricht ganz dem Elasticitätscoefficienten elastischer

ınd es ergibt sich nun als einfache Folgerung, dass die
:ungsgeschwindigkeit der Längenwellen in gespann-
ı sein werde:

$$V = \sqrt{g \frac{P}{f \alpha s}}$$

n das Gewicht der Längeneinheit des Fadens mit d be-
wird:

$$V = \sqrt{g \frac{P}{d \alpha}}$$

'ortpflanzungsgeschwindigkeit einer transversalen Welle
ben Faden und bei gleicher Spannung ist (No. 491),

$$v = \sqrt{g \frac{P}{f s}}$$

t sich also $V : v = 1 : \sqrt{\alpha}$.
in allen Fällen nur ein sehr kleiner Bruchtheil der Ein-
ı erkennt hieraus, dass sich die Längenwellen mit un-
·össerer Schnelligkeit fortpflanzen, als die Querwellen,
sie sich folglich von den letzteren sogleich absondern
wenn beide gleichzeitig an derselben Stelle erzeugt

Luftwellen.

Die Lufttheile äussern gegeneinander eine abstossende
en Druck, vermöge dessen sie sich in gleichen Abständen
ıder zu erhalten und dieselben nach jeder Störung des
vichtes wieder herzustellen suchen. Die Bewegung je-
elnen Lufttheilchens, indem sie den Abstand zu den um-
ı Theilchen ändert, muss folglich auch auf diese und so-
ie ganze Luftmasse einen bewegenden Einfluss ausüben.
schreitende Bewegung in der Luft, durch welche Ursache
ılasst worden sein und in welcher Richtung sie statt
ıg, gleicht immer den Längenschwingungen in elasti-
teln, weil vermöge der grossen Ausdehnsamkeit (Com-
ı - Elasticität) der Luft nicht die geringste Verschiebung
ile stattfinden kann, ohne eine verhältnissmässige Ver-
nach der einen Seite und Verdünnung nach der andern
zu ziehen.
:hten wir zunächst eine in einem langen und glatten cylindri-

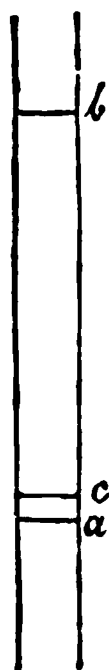
. das dehnende Gewicht für die Einheit des Querschnitts, dividirt
Dehnungsquotienten.

schen Rohr eingeschlossene Luftsäule. Ein Kolben in dieses Rohr luftdicht eingepasst, werde um eine kleine Strecke vorwärts oder rückwärts geschoben.

In dem einen wie in dem andern Falle beginnt er aus der Ruhe mit beschleunigter Bewegung fortzurücken, erreicht eine grösste Geschwindigkeit und kehrt dann durch allmählige Abstufungen wieder zur Ruhe zurück. Während des ersten Theils dieser Bewegung wird die den Kolben zunächst berührende Luftschicht fortwährend verdichtet oder verdünnt. Dieser Eindruck theilt sich den folgenden Schichten im Innern des Rohrs mit und hat sich, im Augenblicke, da der Kolben die grösste Geschwindigkeit besitzt, auf eine Strecke l fortgepflanzt. Es ist einleuchtend, dass der Zeitpunct der grössten Kolbengeschwindigkeit mit demjenigen zusammenfällt, in welchem die zuerst in Bewegung gesetzte Luftschicht die grösste Geschwindigkeit mit dem stärksten Grade der Verdichtung oder der Verdünnung angenommen hat. Während die Bewegung des Kolbens allmählig abnimmt und zur Ruhe zurückkehrt, vermindert sich auch die Geschwindigkeit dieser Luftschicht bis sie endlich mit dem früheren Ruhezustand die demselben entsprechende Dichtigkeit wieder erhält.

Angenommen, die Erschütterung der Luft im Innern des Rohrs erstrecke sich auf eine Säule von der Länge $l = ab$ (Fig. 241). Die Kolbenfläche a sei mit fortdauernder Beschleunigung eben bis c vorgerückt, und während hier die stärkste Verdichtung bereits statt gefunden habe, beginne der erste Eindruck der Bewegung bei b eben erst fühlbar zu werden. Der Weg ac ist, was auch sonst die Natur der Bewegung sein mag, nur halb so gross, als er sein müsste, wenn alle Schichten der Säulenlänge l die Dichtigkeit der zuerst gestossenen Schicht angenommen hätten. (Zu vergl. No. 497.) Es sei $2ac = \delta l$, so ist, wenn b den Barometerstand, x die Zunahme der Luftspannung bei der stärksten eintretenden Verdichtung vorstellt: $b + x : b = l : l - \delta l$.

Fig. 241.



$$\text{Daher } b + x = \frac{b\,l}{l - \delta\,l} \quad \text{und } x = \frac{b\,\delta\,l}{l - \delta\,l}$$

In ähnlicher Weise findet man für den Fall einer Ausdehnung der Luftsäule um den Weg $ac = \frac{\delta\,l}{2}$ die Abnahme der Spannung $x = \frac{b\,\delta\,l}{l + \delta\,l}$.

Ist δ ein sehr kleiner Bruch, so kann man denselben gegen die Einheit vernachlässigen, und es wird $x = \delta b$. D. h. sowohl für die Verdichtung wie für die Verdünnung ist die bewegende

t (δb) dem von der untersten Schicht der Säule l zurückge-
n Wege $\left(\frac{\delta l}{2}\right)$ proportional; ganz so wie bei festen und
bar - flüssigen elastischen Säulen, vorausgesetzt nur, dass
in sehr kleiner Bruchtheil von l sei. Die für feste und tropf-
flüssige Körper entwickelten Fortpflanzungsgesetze der Be-
ung müssen also hier, innerhalb der angedeuteten Gränzen,
he Geltung haben.

Es findet daher ähnlich wie dort (No. 497) ein gleichförmiges
chreiten der Bewegung statt, oder die Fortpflanzungsge-
indigkeit der Bewegung ist:

$$V = \frac{l}{t};$$

r die mittlere Beschleunigung der Schichten:

$$G = g\,\frac{\delta\, b}{l\, s};$$

rösste Geschwindigkeit einer Schicht:

$$G t = g\,\frac{\delta\, b}{l\, s}\, t = \sqrt{2 g\,\frac{\delta\, b}{l\, s}\,\frac{\delta\, l}{2}}$$

folglich die Zeit, während welcher die Bewegung um die We-
länge l fortrückt:

$$t = l\sqrt{\frac{s}{g\, b}}$$

Endlich die Fortpflanzungs - Geschwindigkeit dieser Bewe-
:

$$V = \frac{l}{t} = \sqrt{\frac{g\, b}{s}}.$$

Hat man b als Quecksilbersäule gemessen, so ist s die Dich-
it der Luft unter dem Drucke b und bei der herrschenden
eratur, bezogen auf die Dichtigkeit des Quecksilbers = 1;
r $\frac{b}{s} = H$ eine Luftsäule von überall gleicher Dichtigkeit
der Höhe H; mit einem Worte: die Geschwindigkeits-
e der Luft beim Einflusse derselben in den leeren Raum. H
ir Gase dieselbe Bedeutung, welche der Ausdruck $\frac{E}{s}$ für
und tropfbar-flüssige Körper hat.

503. Die Ausdrücke b und s, nämlich Luftdruck und Luft-
e, stehen in einer solchen Beziehung zu einander, dass bei
ränderlicher Temperatur, jede Aenderung des einen, gleich-

mässig auch den andern trifft. Der Quotient $\frac{b}{s} = H$ ist für ein und dasselbe Gas ein unveränderlicher Werth. D. Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Bewegung in einer Lı ist unabhängig von den Aenderungen ihrer Spannkraft un tigkeit. Sie bleibt gleich, in der Meereshöhe und zwisch Gipfeln der höchsten Berge. Aber auch die aufwärtsgehen niedersteigende Bewegungsgeschwindigkeit ist unabhän der nach oben abnehmenden Dichtigkeit der Luft. Denn m sich die Luftmasse zwischen zweien ungleich hoch lie Puncten, aus einer Anzahl Schichten bestehend denken jede durch ihre ganze Masse einerlei Dichtigkeit besitzt; d pflanzung muss dann durch jede einzelne dieser Sc nach dem Vorhergehenden mit gleicher Geschwindigk finden.

Dagegen können Temperatur und Feuchtigkeitszusta bedeutenden Einfluss auf die Grösse von H erhalten, weil Dichtigkeit und Spannkraft der Luft nicht nach gleichem verändern. Eben daher hat V in jedem andern Gase eir schiedenen Werth, der, wie leicht einzusehen, bei gleichem b, der Quadratwurzel aus der Dichtigkeit umgekehrt tionirt ist.

Ist b als Quecksilbersäule bei o' ausgedrückt, so fin

für trockne Luft: $H''' = \frac{10467\ (273 + t)}{273} .\ 336{,}9;$ (2

504. Bei der Berechnung der Formel

$$V = \sqrt{\frac{g\,b}{s}}$$

ist die Luft als ein elastisches Mittel von beständiger Tem vorausgesetzt worden. Nun erwärmt sich aber die Luft Verdichtung; durch plötzliche Ausdehnung kühlt sie sich a in beiden Fällen muss der Unterschied der elastischen W zwischen benachbarten Luftschichten, von welchen die ei ker verdichtet oder verdünnt worden ist als die andere, men. Von diesem Unterschiede hängt aber die Geschwind ab. Dieselbe muss folglich grösser sein, als die oben bere

In der That findet man $V = \sqrt{1{,}421\ \frac{g\,b}{s}}$.

Ein beliebiges Luftvolum U bei 0° und 336,9''' Druck genomme bekanntlich für $^1/_{273}$ Verdichtung oder Ausdehnung um 0,421° übe wärmt oder darunter abgekühlt (No. 203).

Gesetzt, die wirklich eingetretene sehr kleine Volumänderung se in 273stel von U ausgedrückt, $\left(\text{da } U : u = 273 : 273\frac{u}{U}\right)$, 27

le entsprechende Temperatur-Aenderung:

$$t = 273 . \frac{u}{U} . 0{,}421.$$

Das Luftvolum U, das durch Verdichtung der Ausdehnung, bei ungeänr Temperatur die Spannkraft $b \pm \delta b$ annehmen würde, gelangt verder Temperatur-Aenderung t zu der Spannkraft $B = \frac{273 + t}{273}$ ($b \pm$ oder indem für t der vorher gefundene Werth gesetzt wird:

$$B = \left(1 \pm 0{,}421 \frac{u}{U}\right) b (1 \pm \delta)$$

Denkt man sich nun wieder wie früher (No. 497) l in n Schichten zervon welchen die erste, die Volums-Aenderung $\frac{\delta l}{n}$ erfährt, während ewegung um die Länge l fortschreitet, so ist für diesen Fall $U = \frac{l}{n}$ $= \frac{\delta l}{n}$, folglich $\frac{u}{U} = \delta$; und $B = (1 \pm 0{,}421 \delta) (1 \pm \delta) b =$ $0{,}421 \delta b \pm \delta b + 0{,}421 \delta^2 b$. Man hat dann, für Werthe von δ, welche sen, den letzten Theilsatz zu vernachlässigen, die bewegende Kraft: $B - b = \pm \delta b (1 + 0{,}421) = \pm 1{,}421 \delta b$; (No. 502)

olglich $t = l \sqrt{\frac{1{,}421\, gb}{s}}$ und $V = \sqrt{1{,}421 \frac{gb}{s}}$.

505. Das ganze Stück einer Luftsäule, dessen Theile unter Einflusse einer Erschütterung gleichzeitig in Bewegung sind, l **Luftwelle** genannt. Ihre Länge ist gleich dem Wege um chen sich die Bewegung fortgepflanzt hat, während die erzeude Ursache, z. B. der Kolben in dem vorher gewählten Beile einen Hin- und Hergang vollendete. Die ganze Luftwelle eht hiernach aus einem verdichteten und einem verdünnten le, welche durch eine momentan ruhende Luftschicht von rlicher Dichte von einander getrennt sind. Die Zeit in der Wellenbewegung um eine ganze Wellenlänge fortschreitet, igt:

$$T = 4t = 4l \sqrt{\frac{s}{1{,}421\, gb}},$$

n man die frühere Bezeichnungsweise, wobei l den vierten l der Wellenlänge ausdrückt, beibehalten will.

Die Länge der Welle ändert sich mit der Zeit T, in weldie erzeugende Ursache eine Hin- und Herschwingung volet.

506. Verdichtung oder Verdünnung an irgend einem beliebie-Puncte des Luftraums hervorgebracht, strebt nach dem nnten Gesetze des Gleichgewichtes elastisch-flüssiger Körper nach jeder Richtung auszubreiten. Wenn daher auch die in e einer Erschütterung erregte Luftbewegung, sich im Sinne

des ersten Eindrucks, wenigstens anfangs am stärksten pflanzt, so muss doch, da die Bewegung der Luft nicht ohne derung ihrer Dichte vor sich gehen kann, zugleich auch Seiten - Mittheilung statt finden. Da aber ferner die Schnell dieser Mittheilung nicht von der Stärke des Eindrucks, so (wie vorher bewiesen wurde) nur von der Beschaffenhe Mittels abhängig ist, so folgt, dass die Wellenbewegung in Luftmasse von gleichförmiger Temperatur vom Mittelpunct Erregung aus nach allen Richtungen nicht nur mit gleiche schwindigkeit fortrückt, sondern auch dass alle in der Nä Quelle etwa vorhandenen Unterschiede der Intensität, wi des Fortschreitens der Welle allmählig verschwinden.

Mehrere, z. B. durch Schwingungen eines elastischen chens erzeugte, auf einander folgende Luftwellen bilden al die Erregungsstelle gleichsam concentrische Kugelschalen, Dicke gleich ist und je einer Wellenlänge gleichkommt.

Wegen des Bestrebens der Lufttheile, ihren Spannu stand ringsum auszubreiten, kann man jeden Punct der fo kenden Welle gleichsam selbst wieder als Erzeugungsstelle Welle (Elementarwelle) betrachten, deren Länge derje der Hauptwelle nothwendig gleich ist. Die von der Hauptric der Bewegung abweichenden Wirkungen dieser Elementarw heben sich mehr und mehr wechselseitig auf, jemehr die in chen Phasen schwingenden Theilchen einerlei Spannungszus annehmen.

Der Umfang der kugelförmigen Wellenoberfläche wäch dem Fortschreiten der Welle. Da nun die Summe der in Welle vorhandenen lebendigen Kräfte, d. i. das Product der der schwingenden Theilchen in das Quadrat ihrer Geschwi keit unverändert bleiben muss, so begreift es sich, dass die I sität der Bewegung, welche für gleiche schwingende Masse Quadrat der Geschwindigkeit, oder was dasselbe sagt: dem drate der Schwingungsweite proportional ist, umgekehrt wi Quadrat der Entfernung von der Erschütterungsstelle abne muss. Die Schwingungsweite selbst vermindert sich im einf umgekehrten Verhältnisse des Abstandes.

507. Uebertritt der Wellen aus einem Mittel i andere. — Wenn eine Welle an der Gränzfläche zweier ankommt, so theilt sie sich (No. 499) nach Gesetzen, die a nen des elastischen Stosses als nothwendige Folgen hervor Ein Theil der Bewegung wird auf das andere Mittel übert und erzeugt darin Schwingungen von gleicher Periode m ursprünglichen. Ein anderer Theil wird zurückgeworfen. selbe ist um so beträchtlicher, je grösser die Verschieden der Elasticität und Dichtigkeit beider Mittel.

e viel von der Bewegung fortschreitet und wie viel zurückgeworfen
isst sich, wenn die Elasticität und Dichtigkeit beider Mittel bekannt
ch Rechnung bestimmen; da nach den Gesetzen des Stosses, nicht
lebendige Kraft, sondern auch die Grösse der Bewegung, vor und
em Uebergange der Welle in das andere Mittel, gleich sein muss.
sen Bedingungen ergeben sich zwei Gleichungen von der Form:

$$v^2 m = v'^2 m' + v''^2 m \text{ und } v m = v' m' + v'' m,$$

dienen können, um die Unbekannten v' und v'' abzuleiten.

ı ist die grösste Geschwindigkeit eines schwingenden elastischen
ns gleich $\delta \sqrt{g \frac{E}{s}}$, wenn δl die Schwingungsweite bezeichnet.

7.) Es ist ferner die Länge einer Welle:

$$l = t \sqrt{g \frac{E}{s}}.$$

gleiche Schwingungszeiten (t) in verschiedenen Mitteln mit ihren
ı Geschwindigkeiten schwingenden Massen verhalten sich wie die
e der Wellenlängen in die Dichtigkeiten der Stoffe; daher wie

$$s \sqrt{\frac{E}{s}} : s' \sqrt{\frac{E'}{s'}}.$$

se Werthe in die obigen Gleichungen gesetzt, erhält man:

$$\sqrt{\frac{E}{s}} = \delta'^2 E' \sqrt{\frac{E'}{s'}} + \delta''^2 E \sqrt{\frac{E}{s}} \text{ . und}$$

$$\delta E = \delta' E' + \delta'' E \text{ woraus sich ergibt:}$$

$$\frac{2 \delta E}{E' \left(1 + \sqrt{\frac{E s}{E' s'}}\right)} \text{ und } \delta'' = \delta - \frac{2\delta}{1 + \sqrt{\frac{E s}{E' s'}}}$$

d $\delta''.l$ geben das Verhältniss der Schwingungsweite des fort-
den und des zurückgeworfenen Wellentheils zur Schwingungsweite
ursprünglichen Welle. Dieselben Werthe zum Quadrat erhoben und
gsweise mit den schwingenden Massen multiplicirt, zeigen das Ver-
der Schwingungsintensitäten beider Wellentheile zu derje-
er ursprünglichen Welle, welche durch

$$\delta^2 E \sqrt{\frac{E}{s}} = J$$

ückt ist.

ı findet

$$\delta' l' = \delta l \frac{2 \sqrt{E s}}{\sqrt{E' s'} + \sqrt{E s}},$$

$$\delta'' l = \delta l \frac{\sqrt{E s} - \sqrt{E' s'}}{\sqrt{E s} + \sqrt{E' s'}}.$$

nsität der fortschreitenden Welle ist:

$$\frac{4 \sqrt{E s} \times \sqrt{E' s'}}{(\sqrt{E s} + \sqrt{E' s'})^2} J = J';$$

zurückgeworfenen entspricht dem Unterschiede:

$$J - J' = J \frac{(\sqrt{E s} - \sqrt{E' s'})^2}{(\sqrt{E s} + \sqrt{E' s'})^2}.$$

Man erkennt nun leicht, dass eine Welle aus einem Mittel in das
nur dann ungestört übergeht, wenn

$E's' = Es$. Es ist dann $\delta' l' = \delta l$ und $J' = J$.

In allen andern Fällen findet eine theilweise Zurückwerfung statt
Intensität der zurückgeworfenen Welle ist um so grösser, je grösser di
schiedenheit zwischen Es und $E's'$, gleichgültig übrigens ob Es oder E
grössere Zahl sei.

So wird die Luftwelle von einer harten Wand, aber auch umg
die durch ein Mittel von grosser elastischer Kraft fortschreitende
an der Gränze desselben gegen Luft, grösstentheils zurückgeworfen
vollständige Reflexion ereignet sich an der Gränze des leeren Raume
nämlich $E's' = o$ wird.

Je nachdem Es oder $E's'$ die grössere Zahl, wird $\delta'' l$ positiv o
gativ. D. h. die durch Reflexion bewegten Theilchen schwingen in de
Richtung wie früher, oder in entgegengesetzter Richtung. Im erste
also wenn $Es > E's'$, wird die anstossende Verdichtungswelle al
dünnungswelle reflectirt, und umgekehrt. Im andern Falle kehrt di
nach dem Anstosse in die frühere Ordnung zurück.

So wird die in einem elastischen Stabe oder in einer elastische
fortschreitende Welle, wenn ihr verdichteter Theil voran ist, vom I
gungspuncte in derselben Ordnung, vom freien Ende hingegen in umg
ter Ordnung (d. i. den verdünnten Theil voran) zurückgeworfen (No
Aus demselben Grunde muss die an einer festen Wand anstossende
welle, nach dem Stosse in der früheren Ordnung zurückkehren.
aber eine in kalter Luft fortschreitende Welle an einer warmen oder
ten und dadurch bei gleichem Barometerstande dünneren Luftschicht
so findet eine Zurückwerfung in umgekehrter Ordnung statt.

XI. Erzeugung und Fortpflanzung des Sch

508. Schwingende Körper aller Art erzeugen, wenn
periodische Hin- und Herbewegung in der Luft vor sich
Luftwellen, welche, wenn sie sich bis zu unserem Gehör
fortpflanzen, dasselbe nöthigen, Schwingungen von gleich
riode zu machen (No. 36). Diese Schwingungen innerha
wisser Gränzen der Dauer werden bei hinreichender Stärk
Schall empfunden.

So empfindet das Ohr durch Vermittlung von Luftwell
Schwingungen einer gespannten Saite, eines elastischen S
einer angeschlagenen Glocke u. s. w.

Man überzeugt sich zunächst leicht, dass ohne einen
tigen Vorgang kein Schall vernommen wird. Durch leise I
rung der angestossenen Saite oder der angeschlagenen (
fühlt man die Vibrationen derselben, während man den Scha
Dieser erlischt aber sogleich, wenn durch stärkeren Druck s
Glocke ihre Schwingungen unterbrochen werden.

Jm ferner zu beweisen, dass der Schall durch Vermittlung
oft vernommen oder zum Ohre geleitet wird, hänge man eine
e, die durch ein Uhrwerk fortdauernd angeschlagen wird,
cker gedrehte und dadurch sehr wenig elastischen Fäden
dem Recipienten der Luftpumpe auf. Während des Auspum-
vermindert sich der Schall und hört, nachdem der grösste
der Luft aus dem inneren Raume entfernt worden, endlich
auf. Er wird aber sogleich wieder hörbar, wenn Luft oder
nderer gas- oder dampfförmiger Körper zugelassen wird.
die schallende Glocke unmittelbar auf dem Teller der Luft-
e, so kann der Schall durch Entfernung der inneren Luft
zernichtet werden; weil die Schwingungen der Glocke sich
ungehindert auf ihre feste Unterlage übertragen können und
durch diese wieder zur äusseren Luft und so fort bis zum
fortpflanzen.

Luft und andere Gase leiten den Schall um so besser, je dich-
e sind. So hört man das Tönen der Glocke unter einem mit
oder Kohlensäure gefüllten Recipienten viel deutlicher, als
derselbe Wasserstoff von gleicher Spannkraft enthält. Eben
t in den höheren Luftschichten, auf der Spitze sehr hoher
, der Schall weniger intensiv als in den unteren Schichten
tmosphäre.

509. Die Luftwellen bilden das gewöhnliche Hülfsmittel
ingende Bewegungen auf das Gehörorgan zu übertragen.
auch jeder andere Körper ist fähig, als Schallmittel zu die-
nsofern er nur elastisch genug ist, um die Schwingungen
hmen und durch seine Masse fortpflanzen zu können. Feste
üssige Körper, wegen ihrer grösseren Dichtigkeit, leiten so-
n der Regel besser als die Luft.

ird eine lange Stange an einem Ende mässig gerieben, während man
dere Ende in der Nähe des Ohrs gegen den Kopf lehnt, so hört man
eräusche des Reibens durch die Stange besser als durch die Luft,
dann, wenn die Oeffnungen beider Ohren verstopft sind, also der Zu-
es Schalls durch Luftwellen gar nicht mehr möglich ist. — Erschütte-
des Bodens, z. B. durch die Bewegung eines Reitergeschwaders, durch
brennen der Geschütze, durch vulkanische Ausbrüche bewirkt, wer-
kanntlich durch die feste Masse der Erde auf weit grössere Entfer-
n als durch die Luft fortgeleitet. Das Getöse des Vulkans Cosiguina
aragua, während seines Ausbruchs am 20. Januar 1835 wurde in Ja-
, Carthagena, Santa Marta in Neu-Granada und Santa Fe de Bogota,
m Umkreise von 200 deutschen Meilen vernommen. — Das Anschla-
ner Glocke unter Wasser hörten Colladon und Sturm durch die
Breite des Genfer Sees.

510. Die Eindrücke auf unser Gehörorgan, um vom Bewusst-
als Schall empfunden zu werden, müssen sich wiederholen.
einzige Schwingung, ein einziger Pendelschlag, obschon
ne Luftwelle fortsendet, ist unfähig einen Schall zu er-
en.

Wenn das Ohr von einer Folge gleichgeordneter und langer Wellen (Schallwellen) getroffen wird, so empf die Regelmässigkeit in der Periode dieser Eindrücke als T hört man den Ton einer gespannten, schwingenden Sait ihre gleichdauernden Hin- und Herbewegungen einen zus hängenden Zug von Luftwellen erzeugen müssen, die d dem sie bis zum Ohre vordringen, in gleicher Folge ei sprechende Anzahl Stösse auf dasselbe ausüben. In d Weise vollendet jeder tönende Körper eine Reihe is Schwingungen, deren Intensität hinlänglich gross ist, drücke bis auf das Organ des Gehörs fortpflanzen zu Aber auch ohne die Gegenwart eines tönenden, d. h. sch den Körpers, kann ein Ton gehört werden, wenn die Lu gend andere Art, schnell auf einander und in gleichen Zei erfolgende Stösse erhält, so dass eine Reihe gleich lange wellen entstehen muss.

511. Das Ohr erkennt bei den Tönen dreierlei we Verschiedenheiten: ihre Höhe oder Tiefe, ihre Stärk Klang.

Die Höhe oder Tiefe hängt ab von der Schwingun des tönenden Körpers. Der Ton erscheint um so höher, j die Dauer der Schwingungen, je mehr Schwingungen einer Sekunde vollendet werden, eine je grössere Folge v sen in derselben Zeit das Gehörorgan treffen.

Die Stärke des Tons wird bedingt durch die Stärke zelnen Stösse; welche ihrerseits wieder von dem Absta schallenden Körpers, von der Anzahl materieller Theile, seinen isochronen Vibrationen Theil nehmen, so wie endl der Weite dieser Schwingungen abhängig sind. Die W Schallschwingungen, ihre Schwingungsgeschwindigkeit h gens nicht den geringsten Einfluss auf die Höhe der Töne.

Die Töne lassen noch eine dritte Verschiedenheit, de (timbre) erkennen. Sehr leicht unterscheidet man z. B. den Kl Silbers vor dem des Goldes oder Blei's. Das Klavier, die die Guitarre klingen verschieden, auch bei solchen Tön welchen das geübteste Ohr keine Verschiedenheit in de bemerkt.

Das Abweichende dieser Töne liegt nicht in der Anzahl Schwi welche in gleichen Zeitabschnitten erfolgen, sondern in der Art, nac die Schwingungen vor sich gehen, sich auf die Luft übertragen u diese dem Gehörorgan mittheilen. Es ist einzusehen, dass diese A das Gesetz des Uebergangs aus der Ruhe zur grössten Geschwindig wieder zurück zur Ruhe, je nach der Beschaffenheit des schallen pers sehr verschieden, bei gleicher Schwingungsdauer dennoch du ven sehr abweichender Krümmung ausgedrückt sein kann. Mit Wa lichkeit darf man übrigens voraussetzen, dass ein Ton dem Oh wohlgefälliger und reiner klingt, je regelmässiger der Lauf je

urch welche das Schwingungsgesetz des tönenden Körpers dem Auge nlicht wird.
ie Ausdrücke: Schnarren, Rasseln, Schnurren, Sumsen u. a. m. be-en Töne von unreinem Klang.

Schalleindrücke, die durch Wellenzüge von ungleichartiger naffenheit hervorgebracht sind und so rasch aufeinander fol-dass sie das Ohr nicht getrennt unterscheiden kann, werden als Ton, sondern als Geräusche, oder wenn die Eindrücke heftig sind, als Getöse empfunden.

Ein Knall entsteht, wenn die erzeugende Ursache bei zwar er Heftigkeit nur eine kurze Zeit in Wirksamkeit bleibt, so nur wenige Schwingungen gebildet und fortgepflanzt wer-Der Schall, bewirkt durch einen einzelnen Stoss oder Schlag n so kürzer, je inniger der erschütterte Körper mit grösseren ermassen zusammenhängt, je rascher daher die ihm einge-e Bewegung, durch Uebergang auf andere Materie ihre In-:ät verliert. Daher muss eine Glocke oder eine Metallplatte, ie durch Anschlag tönen soll, möglichst frei schweben. Da-nuss im Allgemeinen die äussere Einwirkung, welche die ingende Bewegung eines tönenden Körpers hervorbringt, wiederholen, wenn der Ton dauernd erhalten werden

—

12. Man hat verschiedene Hülfsmittel, die Anzahl der Schwingungen len, welche einem Tone von bestimmter Höhe angehören. Savart g. Ann. 20. S. 290) benutzte hierzu eine nach Art der Kreissäge ge-e Scheibe von Messing die auf horizontaler Axe befestigt, mittelst Seil-g eine sehr grosse Umdrehungsgeschwindigkeit erhalten konnte. Ein r Körper, z. B. ein Kartenblatt, gegen den Umfang dieses Rades ge-l, wird während der Umdrehung von einem Zahne nach dem andern fen, gebogen und wieder sich selbst überlassen, so dass es eine regel-ge Hin- und Herbewegung annehmen, und für jede Umdrehung so viele lschwingungen machen muss, als das Rad Zähne hat. Jeder Doppel-gung entspricht dann eine ganze, d. h. aus einem verdichteten und verdünnten Theile gebildete Luftwelle. Man erhält mit diesem Appa-ach kurzer Uebung in der Anstellung des Versuchs, einen reinen und n Ton, der sich erhöht und senkt, je nachdem die Umdrehungsge-digkeit grösser oder kleiner wird. Aus der Zahl der Umdrehungen O. S. 297), welche bei gleichförmiger Bewegung auf eine Sekunde multiplicirt mit der Summe der Zähne des Rades ergibt sich die An-er Schwingungen, welche dem gehörten Tone entsprechen. Auf diese fand Savart mit einem Rade, das 82 Centim. im Durchmesser hielt 20 Zähne auf dem Umfange trug, dass 24000 Schläge auf das Karten-also 48000 einfache Schwingungen desselben während einer Sekunde, einen deutlich vernehmbaren Ton hervorbringen. Savart hält dies keineswegs für die Gränze der hohen Töne. Um noch höhere Töne rzubringen, würde es nach ihm nur darauf ankommen, den Schwin-n, von welchen sie abhängen, eine hinreichende Intensität zu geben. asselbe gilt für die tiefen Töne. Um tiefe Töne von starkem Umfange alten, setzte er einen Eisenstock von 2½ Fuss Länge, 2 Zoll Breite und en Dicke in gleichförmige Umdrehung, und zwar um eine Axe, die die Mitte desselben, senkrecht gegen die Längenrichtung und Dicke chgeht. Senkrecht durch die Drehungsebne des Stabs und in der

Richtung eines ihrer Durchmesser geht ein Brett, welches einen Ar enthält, der von dem Stabe während seines Durchgangs fast ausgefü So oft er durchschlägt, was bei jeder Umdrehung zweimal geschehe entsteht ein Knall, dessen Intensität mit der Geschwindigkeit der hung in sehr auffallender Weise zunimmt. Savart (Pogg. Ann. 22 bemerkte, dass sich die Einzelwirkungen schon bei 7 bis 8 Schl eine Sekunde, entsprechend einer gleichen Anzahl ganzer Luftwe einem anhaltenden sehr tiefen Tone vereinigten. Diess war zugl tiefste Ton, welchen er hören konnte.

Eine andere Anordnung um Luftwellen von gleicher Periode z gen, deren Zahl leicht und bequem geändert und doch zugleich werden kann, ist die von Cagniard Latour ersonnene Sirer besteht im Wesentlichen aus einer Scheibe, drehbar um ihren Mi und am Rande ringsum versehen mit Oeffnungen oder Ausschnit gleicher Grösse, die in gleichen Abständen auf einander folgen. Ge Löcherreihe wird, während sich die Scheibe dreht, mittelst eines G dessen Mündung wenig enger ist, als die Löcher, ein Luftstrom der abwechselnd hindurch dringend und wieder aufgehalten eine R Stössen und folglich eine eben so grosse Anzahl Luftwellen erzeug Es ist nun einleuchtend dass die Höhe des hierdurch entstehenden der Anzahl Luftstösse abhängt und dass diese, ähnlich wie bei de rade aus der Umdrehungsgeschwindigkeit und der Zahl der Oeffn der Scheibe bestimmt werden kann.

Die Drehung der Scheibe kann durch den Luftstrom selbst ge wenn (bei 2 bis 3 Linien Dicke der Scheibe) die Löcher schi schnitten sind. Um auch bei sehr grosser Umdrehungsgeschwindi Anzahl der Luftstösse sicher auffinden zu können, hat Cagniard eine mechanische Vorrichtung zum Zählen derselben mit dem Appar bunden.

513. Ein zwar weniger anschauliches aber viel f Hülfsmittel die Schwingungszahl der Töne zu messen, bie gespannte Saite. Ihre Schwingungsdauer ist durch die I

$$T = 2l \sqrt{\frac{f \cdot s}{g \cdot P}}$$

ausgedrückt.

Diese Formel wurde mit Zugrunde-Legung der allge Elasticitätsgesetze theoretisch entwickelt (No. 491). Direk suche über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wellen spannten Fäden, bewährten ihre Richtigkeit. Eine neue, sc Controlle gewinnt man durch Vergleichung mit den vorl schriebenen Tonmessern.

Hat man eine Saite von überall gleichartigem Stoff u cher Dicke, von genau abgemessener Länge (l) und bek Gewichte $q = f \cdot s \cdot l$ durch ein ebenfalls bekanntes Ge gespannt, so ist nach dem Ausspruche obiger Formel die Z Schwingungen, die sie in einer Sekunde vollendet:

---

*) Ann. ch. phy. XII. 167. XVIII. 438. XXXV. 42. Abänderungen von Seebeck sind beschrieben in Pogg. Ann. 5

$$= n = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{gP}{fs}} = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{gP}{lQ}}.$$

nun mittelst der Sirene oder des gezahnten Rades ein rgebracht, welcher nach dem Urtheil des Ohres dieselbe wie der der schwingenden Saite, so findet man durch e Bestimmung der Anzahl Schallwellen dieselbe Zahl n, r die obige Rechnung geführt hatte. So kann man sich mentellem Wege überzeugen, dass die Schwingungs-spannter Saiten sich verhält: umgekehrt wie ihre Länge, die Quadratwurzel aus dem spannenden Gewichte und ener Länge, umgekehrt wie die Wurzel aus dem Ge-r Saite. Saiten aus verschiedenen Stoffen, bei gleicher d Spannung können nur dann gleich schwingen, wenn Gewichte gleich sind.

wingungsversuchen mit gespannten Saiten gebraucht man eine zu eingerichtete Geräthschaft, das **Monochord**. Ein Kasten von s Länge, aus nicht zu dickem, übrigens festem und trocknem tigt und an den Seitenwänden oder am Boden mit einigen Oeff-sehen, ist mit einem dünnen Brettchen aus Tannenholz gedeckt, n Zweck hat, als Resonanzboden zu dienen. Darüber geht eine inen Ende mittelst eines Wirbels, oder durch Einklemmen be-andern Ende um eine leicht bewegliche Rolle geschlungen und hängte Gewichte gespannt. Der Saite entlang läuft ein Massstab, Hülfe genau abgemessene Stücke des der gespannten Saite ent-h Unterschiebung von Stegen oder mittelst Klemmschrauben, von eine feststehen kann, die andere aber beweglich sein muss, ab-ınd so dem Versuche unterworfen werden können. Gewöhnlich sten breit genug, um mehrere, bis zu 4 Saiten neben einander spannen zu können.

hwingende Bewegung der angestossenen Saite theilt sich durch ungspuncte dem Resonanzboden mit, wodurch dieser genöthigt ingungen von gleicher Periode zu machen (No. 507). Die Stärke ird auf diese Weise sehr bedeutend vergrössert.

ebers Monochord (Tonmesser) zum Gebrauche für sehr feine ist beschrieben und abgebildet in Pogg. Ann. B. 15.

hwingungsgesetze gespannter Fäden setzen eine vollkommene t des Stoffes voraus. Diese ist jedoch nur bei dünnen und langen genügendem Grade vorhanden. Bei dicken und kurzen Saiten wirkliche Tonhöhe von der durch Rechnung bestimmten merk-

ine gespannte Saite in der Mitte lose mit dem Finger berührt, ıre eine Hälfte vorsichtig mit dem Fiedelbogen gestrichen, so eichwohl beide Hälften in Schwingung. Aber die Tonhöhe ent-doppelten Schwingungszahl der frei schwingenden Saite. Hieraus r, dass an der berührten Stelle sich ein Knotenpunct gebildet ite (No. 496).

t man durch Berührung mit dem Finger einen beliebigen ganzen z. B. den dritten oder vierten Theil u. s. w. von der Saite ab, t diesen, so kommt auch in diesem Falle die ganze Saite zum Die Tonhöhe entspricht aber derjenigen, welche der abgeson-für sich geben musste. Legt man in dem doppelten, dreifachen er berührten Stelle u. s. w. kleine Papierstücken auf die Saite,

so bleiben sie, während letztere zum Tönen gebracht wird, nur an den zeichneten Puncten in Ruhe, werden aber von andern Stellen, auf die sie legt, herabgeschleudert. Die Saite zerfällt also in gleiche Absch welche durch Knotenpunkte getrennt sind.

514. Die Dauer der Längenschwingungen in elastischen len und Stäben wurde früher (No. 500) aus den Gesetzen Elasticität entwickelt und dafür

$$T = 2l \sqrt{\frac{s}{gE}}$$

gefunden.

Die Schwingungszahl in einer Sekunde soll hiernach

$$n = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{gE}{s}}$$

betragen.

Stäbe von Glas, Holz, Metall können kräftige und woh gende Töne geben, wenn man erstere mit nassem Wollen: die beiden letzteren mit trocknem Tuche, das mit Colophon Pulver bestreut ist, der Länge nach reibt. Je nach der Ar Reibens erhält man aber aus demselben Stabe Töne von vers dener Höhe.

Werden zwei Stäbe von gleicher Masse und gleicher L aber ungleicher Dicke, entweder beide frei in der Hand geh oder beide am einen Ende eingeklemmt, so findet man, das tiefste Ton, welchen sie geben können, bei beiden derselb mögen sie übrigens prismatisch oder cylindrisch, von glei oder ungleicher Dicke, gefüllt oder hohl sein. D. h. die Sch gungsdauer ist unabhängig von der Grösse und Form des schnittes, ganz so wie es das Elasticitätsgesetz verlangt.

Vergleicht man die tiefsten Töne bei gleichartigen Stäben verschiedener Länge, so ergibt sich, dass ihre Schwingung len, wie bei den gespannten Saiten, im umgekehrten Verhält der Länge zunehmen.

Die ungleich hohen Töne, welche ein und derselbe Stab ben kann, stehen in einer festen und unveränderlichen Bezie zu einander. Ihre Schwingungszahlen verhalten sich, vom sten Tone ausgehend, wenn der Stab frei gehalten oder an b Enden befestigt wird, wie 1 : 2 : 3 : 4 u. s. w., oder wenn einen Ende festgeklemmt ist, wie 1 : 3 : 5 u. s. w., ohne da möglich ist, mittlere Töne hervorzubringen. Dieses Verhalt leicht erklärlich, wenn man sich dessen erinnert, was (No. 500) über die Knotenlinien in elastischen Stäben gesagt den ist. Eben so verständlich ist es, dass die Schwingung des tiefsten Tons, wenn der Stab frei gehalten wird, dopp gross ist, als wenn er am einen Ende fest ist.

Die Tonhöhen gleich langer Stäbe aus verschieden

en verhalten sich umgekehrt wie die Wurzeln aus den Dich-
iten der Stoffe.

as oben erwähnte Gesetz der Längenschwingungen elastischer Massen also durch die Tonverhältnisse longitudinal schwingender Stäbe in Puncten bestätigt. Auch die direkte Zählung der Längenschwingungen Stabs, welche Werthheim (Pogg. Ann. Ergänz. II. 13) mittelst eines igenthümlichen Apparates (483) ausgeführt hat, lieferte fast genau die ler Tonhöhe abgeleitete Schwingungszahl. Die aus der Tonhöhe ngender Stäbe berechneten Elasticitätscoefficienten stimmen gleichwohl en durch Dehnung gefundenen nicht ganz überein. Der wahrscheinliche ist schon früher berührt worden.

515. Die Längenschwingungen prismatischer und cylindri- r Stäbe sind stets von Querschwingungen begleitet, ohne dass Schwingungsarten sich wechselseitig stören. Die letzteren en vorherrschend, wenn mit dem Bogen rechtwinklig gegen änge gestrichen wird. Auch in diesem Falle kann man Töne verschiedener Höhe erhalten. Sie sind von Knotenlinien ab- ig, die bei flachen Stäben, welche am einen Ende sehr fest annt sind (z. B. mit Hülfe eines sehr schweren Schraub- s) durch Aufstreuen von leichtem Sand wahrnehmbar ge- t werden können. Der Sand sammelt sich nämlich an diesen en, als den einzigen, welche in Ruhe bleiben. Der tiefste Ton teht, wenn ein Stab ohne Knotenlinien schwingt. Seine ingungszahl ist, wie von selbst einleuchtet, unabhängig von Breite des Stabs; sie steht aber im geraden Verhältnisse sei- Dicke, im umgekehrten zum Quadrate der Länge und im um- hrten zur Quadratwurzel aus der Dichtigkeit des Stoffs (483). ingungen gekrümmter Stäbe; Stimmgabel.

516. Dünne elastische Platten, die an einem oder mehreren ten festgehalten werden und durch Streichen, winkelrecht ge- eine Kante in Transversalschwingungen gerathen, bilden enlinien, die durch Streusand sichtbar gemacht, je nach der alt der Platten, der gegenseitigen Lage der Puncte an denen efestigt oder mit dem Bogen gestrichen werden, so wie der des erzeugten Tons mehr oder weniger zusammengesetzte nungen, die sogenannten Klangfiguren darbieten. Sie n sich am leichtesten auf Scheiben von Glas oder Metall dar- n und sind hauptsächlich von Chladni untersucht und be- eben worden. (Geslers phys. Wörterbuch, neue Bearbeitung. 226).

an hat von diesem Verhalten schwingender Scheiben eine sinn- Anwendung gemacht, um zu beweisen, dass entgegengesetzte Schall- durch Interferenz sich wechselseitig aufheben können.

Wird eine viereckige Scheibe von sehr gleichmässig dickem Messing- in der Mitte festgeklemmt und in der Nähe eines Ecks so gestrichen,

dass sie ihren tiefsten Ton gibt, so nehmen die Knotenlinien die in bezeichnete Gestalt an. Es ist vollkommen einleuchtend, dass je zw eine Knotenlinie getrennte Stücke wie *a* und *b* immer entgegengese nur an einem Puncte zusammenstossende Stücke wie *c* und *b* gleich gen müssen.

Fig. 242.

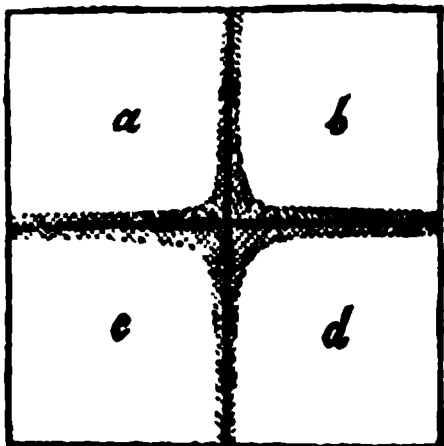
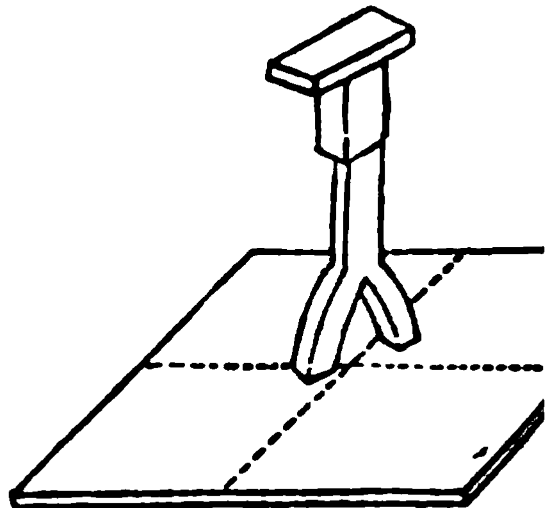


Fig. 243.



Die Fig. 243 stellt eine gabelförmige aus dünnen Brettchen zu gesetzte Röhre vor, deren beide Schenkel offen sind und deren obere förmige Erweiterung mit Postpapier überzogen ist. Hält man nun den Oeffnungen dieser Röhre nahe über zwei in gleicher Phase sch Abtheilungen der mit ihrem tiefsten Tone klingenden Scheibe z. I und *b*, so wird Sand, welchen man auf die Papierfläche gestreut ha die Stösse der in die Röhre eindringenden Schallwellen in die H schleudert. Hält man aber beide Schenkel über die Abtheilungen die in entgegengesetzten Phasen schwingen, so bleibt der Sa liegen.

517. Geschwindigkeit des Schalls. Der Sch in jeder Richtung gehört, in welcher die Schallwellen i Ausbreitung nicht gehindert werden. Jede gerade Linie, von der Erzeugungsstelle des Schalls ausgeht oder allge welche auf irgend einem Puncte einer Wellenoberfläche recht steht, heisst Schallstrahl. Sie bezeichnet die Ri nach welcher das betreffende Wellenstück fortschreitet. D schwindigkeit, womit diess in einem gegebenen Mitt schieht, fällt mit derjenigen zusammen, womit der Schal fortgeleitet wird. Aus der Elasticität und Dichtigkeit ein tels lässt sich daher die Fortpflanzungsgeschwindigk Schalls in demselben durch Rechnung bestimmen.

Die Geschwindigkeit des Schalls in der Luft ist durch die For

$$V = \sqrt{1,415 \frac{g\,b}{s}}$$

gegeben (504).

Nimmt man die Luft als trocken an und ihre Temperatur gleich setzt man nach den neuesten Bestimmungen von Regnault: das von 1 Litre Quecksilber = 13595,93 Grm., das Gewicht von 1 Li bei 0° und 336,9 Linien Druck = 1,293187 Grm., so erhält $\frac{b}{s}$ d

Werth: 24596. Daher $V = \sqrt{30{,}1958 \,.\, 24596 \,.\, 1{,}415} = 1027{,}3$ Par. der 333 Metre.

t der Temperatur und dem Feuchtigkeitsgehalte der Luft ändert sich das niss $\frac{b}{s}$ und dadurch auch die Schallgeschwindigkeit, wie der ck:

$$V = 1027{,}3 \sqrt{(1 + 0{,}00366\,t)\left(1 + \frac{6p}{16b}\right)}.$$

ie Dunstspannung, b den Barometerstand, beide in einerlei Mass ben.

irekte Erfahrungen über die Schallgeschwindigkeit sind dagewonnen worden, dass man die Anzahl Sekunden, welche ugenblicke des Lichteindrucks einer in bedeutender Entferabgefeuerten Kanone, bis zu dem Augenblicke, da der Schall t wurde, verflossen, in den geradlinigten Abstand der Kavon dem Standorte des Beobachters dividirte. Solche Versind schon häufig unternommen worden, (Pogg. Ann. 5. ; 14 S. 375). Sie müssen zur Nachtzeit angestellt werden, lann die Luft gewöhnlich am ruhigsten ist. Zugleich ist es , auf den Stand des Barometers, Thermometers und Hygros sorgfältige Rücksicht zu nehmen, Dem Einflusse des Winicht man dadurch vorzubeugen, dass die Schüsse an beiden nen möglichst gleichzeitig abgefeuert werden. Es wird dann iden Resultaten das Mittel genommen.

ls die zuverlässigsten direkten Beobachtungen gelten die re 1822 von Pariser Akademikern zwischen Villejuif und éry bei Paris (Pogg. Ann. 5 S. 477) und im Jahre von Moll und van Beek (Pogg. Ann. 5 S. 351; 19 S. 115) Gegend von Utrecht ausgeführten. Nach den erstern ist die geschwindigkeit, auf trockne Luft bei 0° reducirt 331,05 ; nach den letzteren 332,25 Metre. Diese Geschwindigkeit t der Schall nicht nur in Luft von jeder Dichtigkeit (No. 503), n auch in aufwärts und abwärts gehender Richtung (Stamund Myrbach, Pogg. Ann. 5 S. 496; Bravais und Marogg. Ann. 66 S. 351).

r Bestimmung der Schallgeschwindigkeit in der Luft hat zuerst Newn Ausdruck

$$V = \sqrt{\frac{gb}{\ }}$$

. Da jedoch der hiernach berechnete Werth (861,8 P. F. hinter den ssen der Erfahrung weit zurück blieb, so kam La Place auf den en, die Ursache dieses Unterschiedes darin zu suchen, dass bei der g auf die Temperaturveränderungen Rücksicht genommen werden von welchen plötzliche Dichtigkeitsveränderungen bei Gasen begleitet Die hiernach corrigirte Formel gab nun wirklich ein Resultat, welt denen der Beobachtung befriedigend übereinstimmte.

long (Pogg. Ann. 16. S 438), indem er als wahrscheinlichsten der Schallgeschwindigkeit die Zahl 333 Metre nahm, berechnete hier-

nach das Verhältniss der spec. Wärme der Luft bei constantem Volum, zu dem bei constantem Druck, wie 1 : 1,421. Er hatte damals die Dichtigkeit der Luft zu $\frac{1}{10462}$ von der des Quecksilbers gesetzt. Nach den neuesten Bestimmungen ist aber dieser Werth $\frac{1}{10513,5}$, und hieraus folgt die oben benutzte etwas abweichende Zahl 1,415.

518. Die Geschwindigkeit des Schalls im Wasser lässt sich theoretisch aus der Formel

$$v = \sqrt{\frac{gE}{s}}$$

ableiten.

Der Elasticitätscoefficient des Wassers ist (No. 477): 218 Kil. auf einen Querschnitt von 1 Quad. Millim. Ein C. Mm. Wasser bei 0° wiegt 1 Milligr. Daher die Länge der Wassersäule $\frac{E}{s}$ in Metre ausgedrückt 218000. Hiernach ist $v = \sqrt{9,8088 \,.\, 218000}$ $= 1462,3$ Metre.

Zwischen Rolle und Thonen am Genfer See hat Colladon direkte Versuche über die Schallgeschwindigkeit im Wasser angestellt (Pogg. Ann. 12 S. 171). Die Entfernung beider Stationen betrug 13487 Metre. Sie wurde in 9,4 Sekunden vom Schalle unter Wasser durchlaufen, was einer Geschwindigkeit von $\frac{13487}{9,4}$ $= 1435$ Metre entspricht.

Das Wasser des Genfer See's ist fast chemisch rein. Die Temperatur desselben zur Zeit der Versuche war 8,1°. Seine Dichtigkeit konnte also von der des reinen Wassers bei 0° nicht merklich abweichen.

Die Schallgeschwindigkeit im Wasser übertrifft die in der Luft um mehr als das vierfache.

519. Ueber die Geschwindigkeit des Schalls in festen Körpern ist nur eine einzige Beobachtung bekannt, die sich auf eine Körpermasse von nicht ganz unbedeutender Ausdehnung bezieht. Biot (traité II. 26) hat gefunden, dass sich der Schall einer Glocke durch die feste Masse einer gusseisernen Röhrenleitung von nahe 1000 Metre Länge mit mehr als 10mal grösserer Geschwindigkeit fortpflanzte, als durch die das Rohr ausfüllende Luft. Dieses Resultat, obschon nur ein Näherungswerth, ist genügend, um zu zeigen, dass der Schall durch feste Massen weit schneller als durch die Luft geleitet wird. Indirekte aber wahrscheinlich der Wahrheit sehr nahe kommende Angaben erhält man aus der Schwingungszahl des tiefsten Tones longitudinal schwingender prismatischen

ne. Es werde z. B. ein frei in der Hand gehaltener Stab zum wingen gebracht, so entspricht die seinem tiefsten Tone zugeige Wellenlänge der doppelten Länge des Stabs. Diess ist also Weg, welchen der Schall in derselben Materie während einer ızen Schwingungsperiode zurücklegen kann. Die Schwingszahl des tiefsten Tons mit der doppelten Länge des Stabs ltiplizirt gibt also die gesuchte Geschwindigkeit,

Auf diesem Wege hat zuerst Chladin gefunden, dass die schwindigkeit des Schalls in Eisen, Stahl, Glas, Tannenholz — 16mal grösser ist, als in der Luft.

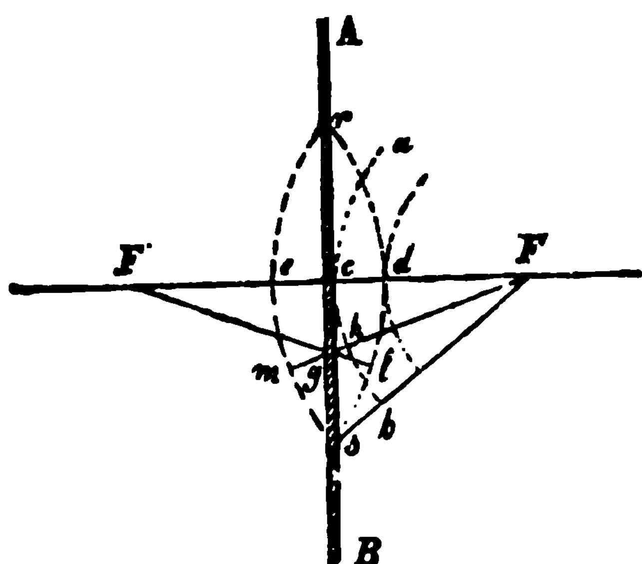
520. Die Geschwindigkeit der Schallwellen ist unabhängig von ır Länge. Dieser Satz der unmittelbar aus der Theorie hervorıt, wird durch die Erfahrung vollkommen bestätigt. Denn wir len, dass zwei Töne von ungleicher Höhe, die gleichzeitig hergebracht worden, z. B. zwei Klaviertöne, die einen musikaliıen Akkord bilden, in geringerer wie grösserer Entfernung von Erzeugungsstelle gleichzeitig gehört werden.

Aus der Kenntniss des Wegs, welchen der Schall in einer kunde zurücklegt, lässt sich hiernach die Länge der Wellen stimmen, welchen er zugehört. Z. B. einer der tiefsten Töne, lche in der Musik gebraucht werden, entspricht 32 Schwingen in der Sekunde. Diese Zahl mit sich selbst multiplicirt bt 1024; d. h. in Pariser Fuss gelesen fast genau die Wegesge, die der Schall in einer Sekunde in der Luft beschreibt. Die lle, welche jenem Tone zugehört, ist daher 32 Fuss lang. In Musik kommen aber auch Töne von 2000 und mehr Schwinngen vor. Die Zahl 1024 durch 2000 dividirt, gibt eine Wellenge von nur 0,5 Fuss.

521. Zurückwerfung des Schalls in der Luft. — nn die fortschreitende Schallwelle gegen ein widerstehendes lel stösst, das wir zunächst als eine ebne Fläche von unbenzter Ausdehnung betrachten wollen, so findet eine Zurückrfung statt. Aber verschiedene Theile derselben Wellenoberche können nicht gleichzeitig die Wand erreichen. Die Zurückrfung beginnt daher bei demjenigen Schallstrahle, der von dem eugungspuncte aus gegen die ebne Fläche senkrecht geht, r der kürzesten Entfernung entspricht. Jeder andere, gegen Wand geneigte Strahl, wird später zurückgeworfen. Da nun es Lufttheilchen, dem durch den Widerstand der Wand seine wegung entzogen worden, zugleich entweder eine Verdichtung r Verdünnung erfahren hat, so lässt sich jeder reflectirende ıct als selbstständige Ausgangsstelle einer Welle betrachten, sich dann nach bekannten Gesetzen ausbreitet.

Es sei AB (Fig. 244) die zurückwerfende Fläche; abc die eben ankommende Schallwelle; cd ihre Länge; F der Ausgangspunct. Die in die Lage abc eingerückte Welle würde ohne den Widerstand der Wand in der folgenden Schwingungsperiode die Lage res erreichen. Allein in Folge des Stosses ist die bei c zuerst reflectirte Bewegung auf ihrem Rückwege bereits wieder in d angelangt ($ce = cd$) in demselben Augenblicke, da die Puncte r und der Wellenoberfläche, welche unterdessen einen cd gleichen Weg beschrieben haben, die Wand erreichen und bei ihnen die Zurückwerfung beginnt. Die Bewegung eines jeden andern Theilchens der Welle hat unterdessen, sei es direkt oder durch Reflexion einen eben so grossen Weg (cd) zurücklegen müssen. Z. B. der Strahl Fh, welchem direkt noch der Spielraum hg geblieben, musste durch Reflexion einen Weg von der Grösse gm beschreiben und hat desshalb von g aus als Mittelpunct der zurückgeworfenen Bewegung irgend einen Punct l, ($gl = mg$) erreicht. Da g als selbständiger Ausgangspunct einer Welle gelten kann, so darf man für l jeden Punct des Kreisbogens nehmen, welchem gl als Radius zugehört also auch denjenigen, für welchen Winkel lgs = mgs. Man verlängere lg bis zum Durchschnittspuncte mit der Verlängerung der Linie Fc und nenne diesen Punct F'. Die rechtwinkligen Dreiecke Fgc und $F'gc$ sind gleich, weil sie die Seite cg gemeinschaftlich und auser den rechten Winkeln auch die Winkel $Fgc = F'gc$ haben. Es ist daher Linie $Fc = F'c$, ferner $Fg = F'g$ und folglich auch $F'l = Fm$. D. h. der Punct l gehört dem Kreisbogen dls an, der mit dem Strahle $F'l = Fm$ von F' als Mittelpunct gezogen ist. Dasselbe gilt, und aus denselben Gründen, für jeden andern Strahl der reflectirten Welle acb. Der Kreisbogen rds bezeichnet also die Gränze, bis zu welcher die Bewegung der Welle, eine Schwingungsperiode nach dem Beginne der Zurückwerfung zurückgeschritten ist. Man sieht hieraus: dass die zurückgeworfene Welle sich gerade so verhält, als wäre sie von dem Puncte F', der eben so weit hinter der Fläche liegt, wie F vor demselben, als Erregungspunct ausgegangen, und dass die Richtung eines zurückgeworfenen Schallstrahls gefunden wird, indem man von dem Puncte F' aus eine gerade Linie durch den Einfallspunct des direkten Strahls zieht.

Fig. 244.



Denkt man sich auf dem Einfallspuncte g ein Loth errichtet,

in die Ebne zu liegen, welche der einfallende mit
den Strahle bildet und die Neigung des einfallenden
dieses Loth (der Einfallswinkel) ist der Neigung
en Strahls gegen dasselbe Loth (dem Ausfallswin-
Nach diesem Satze, der, wie man leicht sieht, ganz
ltung hat, lässt sich die Zurückwerfung des Schalls
ten Oberflächen bestimmen, indem jeder physische
en als ebne Fläche betrachtet werden darf.
vom Mittelpuncte eines mit kreisförmigen oder kugel-
den umgebenen Raumes ausgehenden Wellen müs-
lexion zu ihrem Ursprunge zurückkehren, weil alle
auf der reflectirenden Wand senkrecht stehen. —
Brennpuncte einer Ellipse oder eines Ellipsoids er-
vellen tragen den Schall durch Reflexion nach dem
ouncte, weil die von den Brennpuncten nach einem
ncte der elliptischen Krümmung geführten Linien mit
m Puncte errichteten Senkrechten gleiche Winkel

che Weise erklärt es sich, dass der Schall durch Re-
ohlflächen mit annähernd parabolischer Krümmung
n Richtungen vorzugsweise geleitet wird; dass wenn
ugelsegmenten gekrümmte Hohlflächen so einander
nen, dass ihre Axen zusammenfallen, die von dem
ler einen ausgehenden Schallstrahlen durch zweima-
theilweise in dem Brennpuncte der andern gesam-
Befindet sich daher ein schallender Körper in dem
uncte, so hört man den Schall in dem andern stärker
ndern Stelle.
ndet sich in einer reflectirenden Wandfläche eine
wird der auf dieselbe fallende Theil der Schallwelle
eworfen, sondern pflanzt sich durch dieselbe nach
er hierdurch nach Aussen geleitete Schall wird dann
erhalb des Winkels *aFb* (Fig. 245), in dessen Um-

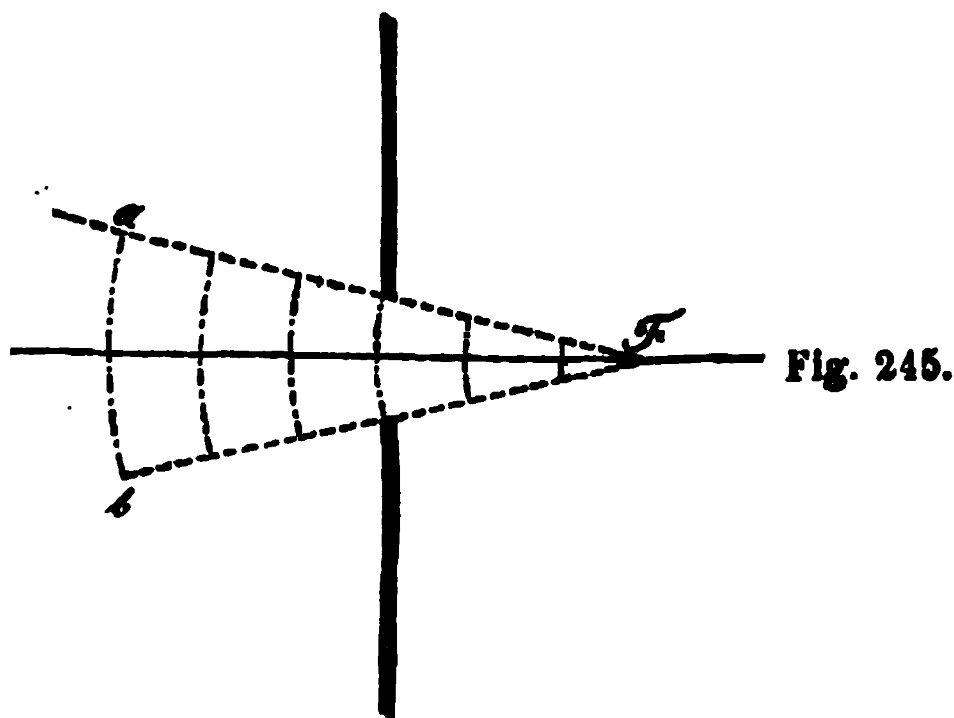


Fig. 245.

fang die Fortpflanzung der Bewegung unmittelbar statt findet, sondern auch seitwärts, obschon mit abnehmender Stärke empfunden. Denn jedes schwingende Lufttheilchen sucht die seiner Phase entsprechende Spannung nach allen Richtungen fortzupflanzen und versetzt dadurch die Lufttheile auch seitwärts von dem Winkel *aFb* in Schwingung. So kommt es, dass die Welle sich mehr und mehr nach den Seiten ausbreitet, je weiter sie ausserhalb der Oeffnung fortschreitet.

523. Schalleindrücke, welche in Zeitintervallen von weniger als $\frac{1}{9}$ Sekunde auf einander folgen, kann das Ohr nicht unterscheiden. Sie wirken zusammen als ein einziger Schall. So wird die von nahe liegenden Wänden reflectirte Schallwelle mit der direkt einfallenden als gleichzeitig empfunden, und die eine dient die nur, um den Eindruck der andern zu verstärken. Aus diesem Grunde schallt die Stimme in geschlossenen Räumen von geringer Ausdehnung stärker als im Freien. — Bei zunehmendem Abstande der Wände empfindet man allmählig die Verspätung des zurückgeworfenen Schalls durch eine, in grossen Sälen oft so lästig werdende Verlängerung des ursprünglichen (**Nachhall**). Endlich bei einem Abstande von der Grösse, dass die zurückgeworfene Welle einen um wenigstens $\frac{1027}{9}$ Fuss grösseren Weg als die direkte zurückzulegen hat, löst sich der reflectirende Schall ganz von dem direkten und wird als **Wiederhall** (Echo) gehört.

Hat die zurückgeworfene Schallwelle einen Weg von 2, 3, 4mal $\frac{1027}{9}$ Fuss zu beschreiben, so können durch das Echo zwei oder mehrere Laute hintereinander wiedergegeben werden. Das Echo wird nachhallend (mehrsilbig), wenn eine Reihe reflectirender Körper, z. B. steile Abhänge eines Gebirgszuges, in stetiger oder fast stetiger Zunahme der Abstände hintereinander liegen.

Befinden sich mehrere reflectirende Flächen in der Umgebung der Schallquelle so vertheilt, dass eine immer um wenigstens 60 Fuss weiter entfernt liegt, als die andere, so entsteht ein mehrfaches Echo. — Auch in der Mitte ringförmiger Plätze von wenigstens 60 Fuss Radius, die von hohen Häusern umgeben sind, wird ein mehrfaches Echo gehört.

In Kirchen, Hörsälen, Theatern vermindert man nachtheilige Wirkungen der Schallreflexion durch Oeffnungen in den Wänden, durch hervorragende Verzierungen und andere Unterbrechungen in der Einheit der reflectirenden Flächen. Auch durch Fenstervorhänge, Fussteppiche, Behängen der Wände mit Tapeten, durch Anhäufung vieler Gegenstände in einem Raume wird die Stärke des Schalls in demselben gemässigt.

Unebenheiten der Wände schwächen die Intensität des Schalls, weil sie die regelmässige Ausbildung der zurückgeworfenen Schallwelle nicht zu lassen. Lockere Stoffe lähmen die Zurückwerfung überhaupt.

Die Luftwellen werden nicht nur von der Oberfläche fester und flüssiger Körper sondern auch von andern Gasen, ja selbst beim Eindringen in Luftmassen von verschiedener Dichtigkeit

eise zurückgeworfen; so beim Uebergange aus niederen
ıere Luftschichten, aus kalter in warme, aus trockner in
əre Luft oder umgekehrt. (Zurückwerfung des Schalls von
olken.)

ie untersten Schichten der Atmosphäre sind theils durch un-
ə Erwärmung des Bodens, theils in Folge des Verdunstungs-
ses bei Tage weit mehr als zur Nachtzeit von Strömungen
ch dichter Luft durchzogen. Die hieraus entspringenden
ichen Reflexionen der Schallwellen bilden neben der allge-
ı Ruhe der Nacht die Hauptursache, warum der Schall
weiter dringt als bei Tage. Wenn aber auch gar kein Hin-
s der Fortpflanzung des Schalls entgegensteht, so muss
Kraft gleichwohl bald abnehmen, weil die Intensität der
ngenden Lufttheilchen, vorausgesetzt, dass die Welle sich
sbilden kann, im umgekehrten Verhältnisse zur Entfernung
r Ausgangsstelle steht.

24. Luftwellen, die sich in cylindrischen Röhren fortpflan-
ıüssen ihre Breite unverändert beibehalten und können nur
Reibung an den Röhrenwänden allmählich einen Theil ihrer
rung einbüssen. Durch Röhrenleitungen kann daher der Schall
st ungeschwächter Kraft von einem Ende bis zum andern
ragen werden. Schallleiter (Communikationsröhren) aus
ıisirtem Kaoutschuck, aus Gutta-Percha etc.

in sehr wirksames Mittel die Kraft der menschlichen Stimme
ewisser Richtung zu verstärken, bildet das Sprachrohr.
ein offnes conisches, oder eigentlich parabolisch gekrümm-
hr aus Metallblech, in dessen engerer Oeffnung, dem Mund-
, die Schallwellen erzeugt werden. Durch Reflexion von
ıischen Seitenwänden erhalten sie dann eine solche Rich-
dass ihre Strahlen in der ganzen Breite der Ausmündung
hrs parallel laufen, folglich auch ausserhalb desselben län-
sammenhalten.

ls eine Umkehrung des Sprachrohrs ist das Hörrohr zu-
hten, welches gebraucht wird, die ganze lebendige Kraft
der weiteren Oeffnung des Rohrs eindringenden Welle zum
ı leiten.

25. Das menschliche Gehörorgan besitzt die Fähigkeit
re Schalleindrücke zugleich aufzunehmen und sie von ein-
zu unterscheiden. Es geht hieraus hervor, dass die an ver-
enen Stellen erzeugten Luftwellen unabhängig von einander
ıreiten, ja nach allen Richtungen sich durchkreuzen
n, ohne sich dauernd zu stören. Dieses Verhalten entspricht
dem allgemeinen, aus dem Gesetze der Trägheit sich erge-
n Grundsatze der Mechanik, dass die unter der gleichzei-
Einwirkung mehrerer Kräfte erfolgenden kleinen Bewe-

gungen materieller Theilchen immer von der Art sind, dass gleichzeitig allen diesen Kräften vollständig Genüge lei müssen.

Vorübergehende Störungen kommen an den Stellen vor, welchen zwei Wellen in einander greifen (interferiren). bestehen, je nach der Richtung und Stärke der zusammenfallen Bewegungen, je nachdem gleichartige oder ungleichartige lentheile sich durchkreuzen, in einer Verstärkung oder Sch chung und selbst Aufhebung der Bewegung. Nach erfolgter Du kreuzung setzt aber jede Welle ihren Weg ganz nach der anf lichen Weise fort und ohne dass die Grösse der ihr eingeprä lebendigen Kraft dadurch eine Aenderung erfuhr.

Liegen die Ausgangspuncte zweier Wellenzüge von glei Wellenlänge sehr nahe, so vermischen sie sich unter dem flusse der eintretenden Interferenzen allmählig zu einem zigen Systeme von derselben Wellenlänge aber vermehrte tensität.

So wirken die durch eine schwingende Saite und die gleichen Perioden mitschwingenden Theile eines Resonanzbo erzeugten Luftwellen, ungeachtet jeder stetig schwingende P als Ausgangsstelle eines Wellenzuges betrachtet werden kan einigem Abstande von dem Orte der Erzeugung doch nur wie einziges System.

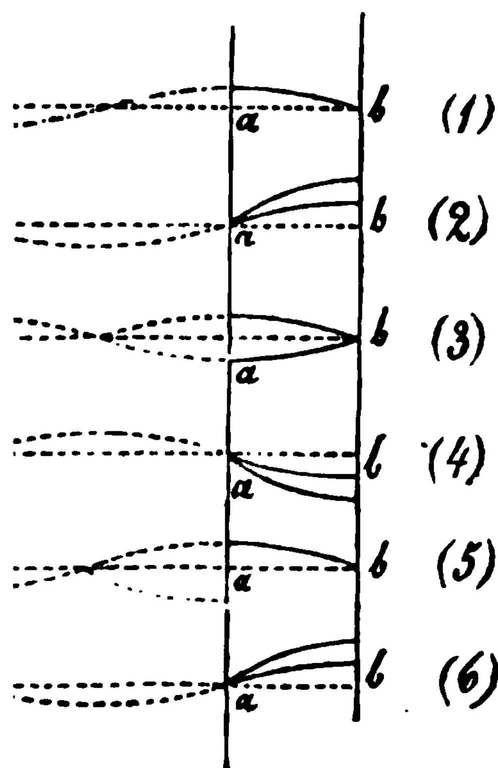
526. Stehende Luftschwingungen. — Da die L wellen mit den Längenwellen in festen und tropfbar flüss Körpern hinsichtlich der Weise ihrer Entstehung und Fort zung die vollkommenste Uebereinstimmung zeigen, so ist auszusehen, dass Luftwellen unter Bedingungen ähnlicher Art die in No. 500 erörterten ebenfalls stehend werden müssen der That kann man in cylindrischen Röhren, seien sie ganz oder am einen Ende geschlossen, stehende Schwingungen vorbringen.

Es werde zunächst ein einerseits geschlossenes Rohr mit offnen Ende einem Zuge von Wellen entgegengestellt, de Länge das vierfache von der des Rohrs beträgt. Die g Schwingungsperiode sei 4 *t*, Eine beim Beginne dieser Zeit dem Rohr ankommende Welle wird nach der Zeit *t* bis zum schlossenen Ende vorgedrungen sein.

Es bezeichne *ab* (Fig. 246) die Länge des Rohrs. Das D tigkeitsverhältniss der aufeinander folgenden Luftschichten Innern desselben, sei in den verschiedenen Phasen einer Sch gungsperiode durch die Curve dargestellt. Fig. (1) gibt dem das Dichtigkeitsverhältniss der Schichten, wenn die Welle bis Puncte *b* fortgeschritten ist. Einen Zeitraum *t* später ist der g

te Vordertheil der Welle in das Rohr eingedrungen und re Hälfte desselben durch Zurückwerfung von der Hin- bereits wieder bis zur Einmündung *a* des Rohrs zurück-

Fig. 246.



gegangen. Alle Luftschichten im Rohr von je gleichen aber entgegengesetzt gerichteten Kräften ergriffen, befinden sich daher in diesem Augenblicke in Ruhe; die Dichtigkeit an jeder Stelle ist verdoppelt. Die verdichteten Theile setzen unmittelbar darauf gleichzeitig ihre rückgängige Bewegung fort und, nachdem abermals ein Zeitraum *t* verflossen, würde die reflectirte Verdichtungswelle vollständig entwickelt sein (3), wenn nicht unterdessen der verdünnte Hintertheil in dieselbe Stellung eingerückt wäre. Durch erferenz beider Wellenhälften sind die Lufttheilchen im len Augenblick in den natürlichen Dichtigkeitszustand kehrt. Ihre Geschwindigkeit im Sinne von *b* nach *a* ist loppelt. An der Hinterwand selbst O, hat sie an der ıng ihr Maximum erreicht. Zu Ende des folgenden Zeitat der Vordertheil der reflectirten Welle das Rohr ganz und interferirt mit der zweiten Welle des Zugs, welche en bis vor die Mündung gerückt ist. Der Hintertheil der elle ist ganz in das Rohr eingedrungen und zur Hälfte beler bis an die Mündung zurückgeworfen. Wieder ist daaugenblicklicher Ruhestand eingetreten, verbunden mit *a* nach *b* zunehmenden Verdünnung (4). Indem man achtungen fortsetzt, ist nun leicht zu übersehen, dass wieder Zeit *t* die Lufttheilchen (je unter dem Einflusse der ımenden und zurückgeworfenen Welle) von *a* nach *b* e natürliche Gleichgewichtslage schwingen (5), und raum *t* später, oder eine Zeit 4 *t* nach dem ersten Ein-Ruhe bei verdichtetem Zustande, von Neuem gleichzeitig und in Ruhe sich befinden u. s. f. Die Schwingungen stehend geworden und der Zeitraum einer Hin- und Herng ist demjenigen gleich, in welchem sich eine Luftng bei ungehindertem Fortschreiten um die vierfache s Rohrs fortpflanzen würde.

schwingende Luftsäule kann auch Knotenpuncte erhalie Analogie mit dem Verhalten eines elastischen Stabs inen Ende fest ist, lässt leicht erkennen, wo im In-Rohrs möglicherweise Knotenpuncte und wo Stellen

grösster Geschwindigkeit bei natürlicher Luftdichte ent
können.

Haben z. B. die eindringenden Wellen $\frac{4}{3}$ von der Läng
Rohrs, so muss, von dem geschlossenen Ende des Rohrs a
rechnet, in dem Abstande $\frac{1}{3} l$ ein Punct grösster Geschw
keit im Abstande $\frac{2}{3} l$ ein Knotenpunct entstehen. Der hie
gebildete Ton ist höher als derjenige, der ohne Knote
schwingenden Luftsäule und entspricht der dreifachen S
gungszahl. Im Allgemeinen verhalten sich die Schwin
zahlen der Töne, welche in einem Rohre, das am einen E
schlossen ist, möglicherweise entstehen können, vom
dieser Töne angefangen, wie 1 : 3 : 5 u. s. w.

Will man einen Ton haben, dessen Schwingungszahl d
pelte jenes tiefsten Tones ist, so muss das Rohr um die
verkürzt werden.

Aber auch die Luftsäule in einem ganz offnen Rohre k
nöthigt werden, stehende Schwingungen zu vollenden. I
stehungsweise gleicht derjenigen der stehenden Längens
gungen eines frei gehaltenen prismatischen Stabs. Geset
Rohr sei halb so lang als eine Luftwelle, welche eben im
ist, am einen Ende einzutreten, so wird nach der Zeit $2t$ i
zer Vordertheil eingedrungen sein und eben am vorderen E
Rohrs anlangen. Während des Fortschreitens im Innern, n
die aufeinander folgenden Luftschichten bei gleicher S
gungsphase immer genau gleiche Dichtigkeit und Schwin
Intensität an. Diess gilt aber nicht mehr für die austre
Wellentheile, weil diese sogleich beginnen sich nach den
auszubreiten. Der Dichtigkeitsunterschied zwischen ein
reits ausserhalb befindlichen und dem folgenden noch i
Wellenelemente nimmt dadurch zu und mit ihm die Schwin
weite der Theilchen. So kommt es, dass beim Austritte ein
dichtungswelle mehr Luft aus dem Rohr entfernt wird, bei
tritt einer Verdünnungswelle mehr in dasselbe eindringt, a
normalen Dichtigkeitszustande entspricht. Die Welle wir
von der Ausmündung des Rohrs. ganz so wie beim Uebe
von Luft in ein Gas von geringerer Dichte, zurückgeworfe
jede Verdichtungswelle kehrt als Verdünnungswelle und je
letzteren Art als eine der ersteren zurück. Es ist nun klar
im Uebrigen alles so wie unter ähnlichen Umständen in ein
gehaltenen elastischen Stabe vor sich gehen muss. Der
Ton, welchen ein offnes Rohr geben kann, entspricht einer
tenpuncte in der Mitte desselben und wird durch eine Lu
getragen, deren Länge der doppelten Länge des Rohrs
kommt. Seine Schwingungszahl verhält sich zu derjenig
höheren Töne, die in demselben Rohre durch Vermehrun
Schwingungsknoten entstehen können, wie 1 : 2 : 3 u. s. w

Erfahrungsmässig liegt für den Fall des tiefsten Tons der otenpunct nicht genau in der Mitte des Rohrs, sondern etwas iter nach vorn. Wahrscheinlich aus dem Grunde, weil der lle Effect der Reflexion nicht unmittelbar an der Ausmündung ndern etwas ausserhalb derselben statt findet.

Aehnlich wie die Luft können begreiflich alle Gase zum Tönen gecht werden. Für alle wiederholt sich der Satz: dass die Länge der in ganz offnen Rohr, oder allgemeiner und schärfer, die Länge der chen zweien Knotenflächen schwingenden Gassäule, die Hälfte von der lenlänge beträgt, um welche die Schallwelle in demselben elastischen während einer Schwingungsperiode fortschreitet. Für diesen Zeit- wurde früher (505) der Ausdruck gefunden:

$$T = 4l\sqrt{\frac{s}{gb}\cdot\frac{1}{K}};$$

l die Länge eines am einen Ende geschlossenen Rohrs, also $2l$ den Abnd von einer Knotenfläche zur andern und $4l$ die Wellenlänge, endlich K Verhältniss der spec. Wärme bei constantem Drucke zur spec. Wärme constantem Volume, z. B. für Luft die Zahl 1,415 vorstellt. Aus dieser chung ergibt sich die einer tönenden Gassäule entsprechende Schwingszahl $n = \frac{1}{T} = \frac{1}{4l}\sqrt{\frac{gb}{s}\cdot K}$.

Wird nun in ein und demselben Rohr zuerst Luft, dann ein anderes Gas er Weise zum Tönen gebracht, dass in beiden Fällen entweder der te Ton, oder der nächst höhere oder der zweite u. s. w. entsteht, mit Worte, dass die durch beide Gase erzeugten Töne einerlei Wellen- entsprechen, so bildet sich zwischen ihren Schwingungszahlen das ltniss:

$$n^2 : n'^2 = \frac{1,415 \,.\, b}{s} : \frac{b \,.\, K}{s'}.$$

Die Werthe von n und n' lassen sich aus den Tonhöhen ableiten. Sind r für gleiche Spannkraft beider Gase ihre Dichtigkeiten s und s' be-, so kann K als die einzig vorkommende Unbekannte berechnet en.

Auf diese Weise hat Dulong (Pogg. Ann. B. 16 S. 455), indem er Flöte nach und nach mit verschiedenen Gasen ertönen liess, die be- S. 127 angeführten Zahlen gefunden.

Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalls in denselben Gasen wurde mit Hülfe der Gleichung

$$v = \sqrt{g\,\frac{b}{s}\,k}$$

lten.

Sie beträgt bei 0° für:

Luft	333	mtre.
Sauerstoff	317,17	„
Wasserstoff	1269,5	„
Kohlensäure	261,6	„
Kohlenoxyd	337,4	„
Stickstoffoxyd . . .	261,9	„
Oelbildendes Gas . .	314	„

Theorie der Musik und der musikalisc[h]
Instrumente.

527. Die wissenschaftliche Betrachtung der verschiedenen To[n] insbesondere der schwingenden Saite und der tönenden Luftsäule, h[at] besonderes Interesse wegen der Anwendung derselben in der Mu[sik] Kunst des Instrumentenbaues ist indessen der Wissenschaft lange [vor]gangen und letztere hat die Eintheilung und Benennung der Töne [der] Musik entlehnt. Es ist darum unsere nächste Aufgabe, die Grundlag[e] Ausdrucksweise hier kurz zu entwickeln.

Wenn man eine Saite am Monochord auf unveränderter Tonhöh[e] eine andere ähnlich ausgespannte Saite aber durch ganz allmählige [Verkür]zung oder Verlängerung immer höhere oder immer tiefere Tö[ne] lässt, so bemerkt man leicht auffallende Verschiedenheiten in der [Ähn]lichkeit des Eindrucks, welchen die gleichzeitig angegebenen Tö[ne] Saiten auf das Ohr hervorbringen. Sind beide aus gleichem Mater[ial] gleicher Dicke und durch gleiche Gewichte gespannt, so finde[t] dass jedesmal dann, wenn der Eindruck ein angenehmer, gleichartig[er] sogenannter harmonischer ist, die Längen beider Saiten, mit ihre Schwingungszahlen in einem durch einfache ganze Zahlen ausd[rückba]ren Verhältnisse stehen. Je grösser die Primzahlen sind, durch wel[che] Verhältniss der Schwingungszahlen gegeben ist, desto widriger (dis[harmo]nischer) ist der Eindruck der gleichzeitig angeschlagenen Töne. [So we]nig übrigens, als sich eine Gränze zwischen kleinen und grossen bestimmen lässt, so wenig lässt sich eine solche für das Gebiet der [Harmo]nieen und Disharmonieen angeben.

Mit dem am Monochord unverändert erhaltenen Tone, dem Gru[ndtone] klingen diejenigen Töne am gleichartigsten, deren Schwingungszahlen [das Dop]pelte, Vierfache, Achtfache etc., oder die Hälfte, ein Viertel, ein Achtel [etc.] der des Grundtons betragen. Man hat das Verhältniss 1 : 2 das [Ok]tave genannt und das ganze Bereich der musikalischen Töne in [Oktaven] eingetheilt, indem man als die Gränzpuncte derselben die Töne von f[olgenden] Schwingungszahlen erwählte:

				Bezeichnung:	Schwingung[en]
Grundton	der	Contra	- Oktave	C̱	33
„	„	grossen	„	C	66
„	„	kleinen	„	c	132
„	„	eingestrichenen	„	c̄	264
„	„	zweigestrichenen	„	c̿	528
„	„	dreigestrichenen	„	c⃛	1056
„	„	viergestrichenen	„	c⃜	2112

Innerhalb der nämlichen Oktave, also z. B. von c bis c̄ lasse[n sich] noch mehrere Töne auffinden, welche, mit dem Grundton c gleichze[itig an]geschlagen, harmonisch klingen. Die Verhältnisse der Schwingun[gszahlen] oder die musikalischen Intervalle dieser Zweiklänge und i[hre Na]men sind die folgenden:

Verhältniss.		Name.
Grundton	höherer Ton	
2	3	Quinte
3	4	Quarte
4	5	Grosse Terz
5	6	Kleine Terz
3	5	Sexte
5	8	Kleine Sexte.

ie gleichzeitige Verbindung dreier Töne oder ein Dreiklang n harmonisch (ein Akkord), wenn jeder der drei Töne mit andern in einem der eben angegebenen Verhältnisse steht. Man aus den Tönen einer Oktave eine grössere Anzahl Akkorde r sie lassen sich allein durch Versetzung des Grundtons um e aufwärts, oder des obersten Tones um eine Oktave abwärts, ›i folgenden wesentlich verschiedenen Dreiklänge zurückführen:

Durakkord.		Mollakkord.		
. Grosse Terz.	Quinte.	Grundton.	Kleine Terz.	Quinte.
5	6	10	12	15

ıwingungsverhältnisse des Durakkords oder grossen Dreiklangs durch einfachere Zahlen ausdrücken, als diejenigen des Moll-der kleinen Dreiklangs und dem entsprechend hat der erstere ·en Klang. Jeder der beiden Akkorde ist jedoch als Grundlage hümlichen Geschlechts harmonischer Compositionen angenommen n civilisirten Nationen der neueren Zeit in anerkanntem Gebrauche. man Grundton, grosse Terz, Quarte, Quinte, Sexte und Oktave r angibt, so fühlt man, dass zwischen Grundton und Terz, sowie ›xte und Oktave Lücken bestehen, welche für eine wohlgefällige ı gross sind. Sehr schicklich werden diese Lücken ausgefüllt, ber demjenigen Tone, welcher dem Grundton am nächsten ver-der Quinte, einen neuen Durakkord aufbaut. Nimmt man die szahl des Grundtons zur Einheit, so hat die obere Terz der Schwingungszahl $\frac{3}{2} \cdot \frac{5}{4} = \frac{15}{8}$, dieser neue Ton fällt ie Sexte $\frac{5}{3}$ und die Oktave 2, und führt den Namen Sep-obere Quinte der Quinte hat die Schwingungszahl $\frac{3}{2} \cdot \frac{3}{2} = \frac{9}{4}$ hon höher als die Oktave. Versetzt man den Ton aber um eine Oktave ist seine Schwingungszahl $\frac{9}{8}$, er fällt zwischen den Grundton 1 ·z $\frac{5}{4}$, und hat den Namen Sekunde erhalten Ueberhaupt wer-›eführten Namen erst jetzt vollkommen verständlich, wenn man ; der Töne in der folgenden Reihe, der Durtonleiter, ins , welche hier sammt der gebräuchlichen Bezeichnung der Töne ›chwingungsverhältnissen angegeben ist:

ler Prime.	Sekunde.	Terz.	Quart.	Quinte.	Sexte.	Septime.	Oktave.
;	d	e	f	g	a	h	c
l	$\frac{9}{8}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{15}{8}$	2

aus wiederholt sich dieselbe Folge von Verhältnissen, auch die Bezeichnungen bleiben im Wesentlichen dieselben. Die obere $\bar{c}$ wird mit $\bar{a}$ (eingestrichen a) bezeichnet und hat auf c bezogen, die Schwingungszahl $2 \cdot \frac{5}{3} = \frac{10}{3}$. Auf dem Kla-ewöhnlich 6 bis 7 solcher Oktaven übereinander gebaut, deren

Namen und Grundtöne schon oben angegeben wurden. Da es in bei der musikalischen Anordnung (Stimmung) eines Instrumentes nicht darauf ankommt, die Verhältnisse der verschiedenen Töne zu einand kennen, sondern da auch die absolute Schwingungszahl wenigstens Tones bestimmt sein muss, so hat man für diesen Normalton einen s gewählt, welcher etwa in die Mitte des ganzen Bereichs musikal Töne fällt und auf sämmtlichen musikalischen Instrumenten vorkom allen Orchestern bedient man sich gekrümmter Stahlstäbe (Stimmga welche den Ton $\bar{a}$ angeben, zur Herstellung einer gleichartigen Stim der Instrumente. Die Schwingungszahl dieser Stäbe ist nicht aller Ort nämliche; doch ist man nun übereingekommen, bei den wissenschaft Erörterungen $\bar{a}$ zu 440 (Doppel-) Schwingungen anzunehmen, eine von welcher die eingeführten Normaltöne sämmtlich nur wenig na Höhe oder nach der Tiefe hin abweichen. Die tiefere Sexte von $\bar{a}$ e erhält hiernach $\frac{3}{5} \cdot 440 = 264$ Schwingungen, und so ist es in der Tafel der Grundtöne der verschiedenen in der Musik gebräuchlichen ven angenommen.

529. Es ist unverkennbar, dass die harmonische Beziehung der durch das geometrische Verhältniss ihrer Schwingungszahlen bestim Zwischen den Schwingungszahlen 33, 66, 132, 264, der aufeinander f den Oktaven sind die Unterschiede sehr ungleich, die Quotienten b immer gleich 2. **Das musikalische Intervall zweier Tön ausgedrückt durch die Quotienten ihrer Schwingu Zahlen.**

Untersuchen wir hiernach die Intervalle der aufeinander folgenden der Durtonleiter, so ergeben sich

$$\begin{array}{ccccccccccccccc} c & & d & & e & & f & & g & & a & & h & & \bar{c} \\ & \frac{9}{8} & & \frac{10}{9} & & \frac{16}{15} & & \frac{9}{8} & & \frac{10}{9} & & \frac{9}{8} & & \frac{16}{15} & \end{array}$$

also dreierlei verschiedene Intervalle. Das Intervall $\frac{9}{8}$ heisst ein g **ser ganzer Ton**, $\frac{10}{9}$ **ein kleiner ganzer Ton**, $\frac{16}{15}$ ein g **ser halber Ton**; Der Abstand zwischen kleiner und grosser $\frac{5}{4} : \frac{6}{5} = \frac{25}{24}$ wird **ein kleiner halber Ton**, jede kleinere Intervall, wie z. B. das zwischen einem kleinen und einem gr ganzen Tone $\frac{9}{8} : \frac{10}{9} = \frac{81}{80}$ **ein musikalisches Co** genannt.

530. Da sich nur von Oktave zu Oktave dieselbe Intervalle wiederholt, so würde eine solche Reihe von Tonleitern nur ein sehr u kommenes musikalisches System darbieten, indem die nämliche Melodi auf einem bestimmten Grundtone oder eine oder mehrere Oktaven oder höher sich ausführen liesse. Wollte man dagegen über jedem der Tonleiter als Grundton eine der angeführten vollkommen gleiche errichten, so würde die hierzu erforderliche grosse Anzahl von Tönen wohl den Bau als die Handhabung der musikalischen Instrumente äu schwierig machen. Es bietet sich hier eine Aushülfe dadurch, das Schärfe, womit auch das musikalisch gebildete Ohr die Reinheit eines kords zu beurtheilen vermag, eine Gränze hat, welche sehr bald erreic Töne, welche ihrer theoretischen Herleitung zu Folge, sich nur um ei nes Comma wie etwa um 1,01 unterscheiden, können, ohne dass der heit der Harmonien dadurch Eintrag geschieht, miteinander versch werden, und man gewinnt durch diese Licenz bei einer begränzten A

n Tönen, ein System, in welchem über jedem Tone ganz dieselbe Stufen-
[ol]ge folgt. Es wird diese Abweichung von der mathematischen Reinheit
· Intervalle, welche übrigens wegen der Unvollkommenheiten des Ma-
[ter]ials, wegen der Temperatureinflüsse etc., doch immer nur in der Idee
[exi]stiren würde, die temperirte Stimmung eines Instrumentes ge-
[na]nnt.

Das Folgende soll zeigen, wie man zu der jetzt allgemein üblichen,
[glei]chmässigen oder gleichschwebenden Temperatur gelangt. Ueber
r reinen Quinte von c, also über g, gibt die obige Tonleiter folgende Reihe
[vo]n Intervallen:

$$\begin{matrix} g & & a & & h & & \bar{c} & & \bar{d} & & \bar{e} & & \bar{f} & & \bar{g} \\ & \frac{10}{9} & & \frac{9}{8} & & \frac{16}{15} & & \frac{9}{8} & & \frac{10}{9} & & \frac{16}{15} & & \frac{9}{8} & \end{matrix}$$

[Ve]rgleicht man diese mit den Normaltonleiter von c bis $\bar{c}$, so weichen die
[ers]ten fünf Intervalle höchstens nur um ein Comma ab und können darum
[be]ibehalten werden. Das sechste Intervall aber ist zu klein, das siebente
[u]m ebensoviel (einen halben Ton) zu gross und man sieht, dass diesen
[Mä]ngeln durch Einschaltung eines neuen Tones zwischen $\bar{f}$ und $\bar{g}$, um eine
[ha]lbe Tonstufe höher als $\bar{f}$, abgeholfen werden kann. Dieser neue Ton hat
[de]n Namen $\overline{fis}$ erhalten.

Geht man nun von g zu einem neuen Grundton fort, welcher wieder
[ei]ne Quinte höher liegt also zu $\bar{d}$, so benutzt man zunächst die Tonreihe
$\bar{e}$, $\overline{fis}$, $\bar{g}$, $\bar{a}$, $\bar{h}$; nun treten wieder dieselben Mängel ein, wie im vorigen
[Fa]lle, zwischen $\bar{c}$ und $\bar{\bar{d}}$ muss ein neuer Ton cis eingeschaltet werden. Man
[w]ürde in dieser Weise, in den Grundtönen von Quinte zu Quinte vorschrei-
[te]nd, immer neue Töne einschalten müssen, wenn nicht die zwölfte Quinte,
[de]ren Schwingungszahl $\left(\frac{3}{2}\right)^{12} = \frac{531441}{4096} = 129{,}7$, von der sie-
[ben]ten Oktave, deren Schwingungszahl $= 2^7 = 128$, so wenig verschieden
[wä]re, dass anstatt jener diese letztere angenommen werden kann. Da man
[wi]eder auf einem Grundton c angelangt ist, so schliesst der Quintencirkel;
[di]eselbe Reihe von Quinten beginnt von Neuem. Es ist natürlich, dass man
[de]n Fehler $\frac{129{,}7}{128} = 1{,}013$ nicht auf die etzte Quinte allein wirft, son-
[der]n auf die zwölf Quinten, durch welche man aufgestiegen ist, zu glei-
[che]n Theilen vertheilt, indem man jeder eine geringe Schwebung abwärts
[gib]t. Denkt man sich diese sämmtlichen Quinten, in reinen Oktaven ab-
[wä]rts gehend, auf das Gebiet Einer Oktave reducirt, so erhält diese die
[bek]annten 12 Töne, welche mittelst der 8 Untertasten und der 5 Ober-
[tas]ten des Klaviers oder der Orgel angegeben werden. Keines der harmo-
[nis]chen Intervalle hat bei dieser gleichschwebenden Temperatur seine volle
[Re]inheit behalten, allein die Abweichungen liegen sämmtlich innerhalb er-
[la]ubter Gränzen und sind bei den einfachsten Zweiklängen, der Quinte und
[Te]rzte, bei welchen eine Beeinträchtigung der Reinheit am leichtesten be-
[me]rkt wird, äusserst gering. Die Oktaven bleiben völlig rein.

Die Berechnung des temperirten Quintenintervalls x geschieht nach der
[Gl]eichung $x^{12} = 2^7 = 128$ und es ergibt sich hieraus $x = 1{,}49831$, wäh-
[ren]d die reine Quinte $= 1{,}5$ zu nehmen wäre. Die zweite Quinte hat die
[Sc]hwingungszahl $x^2 = 2{,}24492$; sie fällt schon in die folgende Oktave; der
[ent]sprechende Ton in der Oktave des Grundtons, von welchem man ausging,
[ha]t demnach die Schwingungszahl $\frac{x^2}{2} = 1{,}12216$. Man sieht leicht,

wie hiernach die Schwingungszahlen der 12 Töne einer gleichschw temperirten Oktave berechnet werden.

Die Resultate sind die folgenden:

c	1,00000	fis	1,41421
cis	1,05946	g	1,49831
d	1,12246	gis	1,58740
dis	1,18921	a	1,68179
e	1,25992	ais	1,78180
f	1,33484	h	1,88775

$\bar{c}$ 2,00000.

Die Kenntniss der Molltonleiter ist für die akustischen Untersuc von keinem besonderen Interesse. Es genügt anzuführen, dass d eine halbe Tonstufe erhöhte d, also dis, als hinreichend übereinsti mit der kleinen Terz, deren Schwingungszahl gleich 1,2, betrachtet kann, und dass somit das beschriebene temperirte Tonsystem auch Mollharmonieen ausreichend ist.

531. Suchen wir nunmehr die Tonfolge auszudrücken, welche nämlichen gedeckten oder offenen Pfeife durch Hervorrufen imme zerer und im gleichen Verhältnisse zahlreicherer Knotenabtheilungen wird. Es ist bereits No. 526 entwickelt worden, auf welche Weise stehend schwingungen in Röhren mit steifen Wänden sich bilden und dass, dieser Zustand eingetreten ist, eine einerseits geschlossene Röhre stet ungerade Anzahl von Viertelwellen, eine beiderseits offene Röhre di eine gerade Anzahl von Viertelwellen, also irgend eine Anzahl von wellen fasst.

Man erhält daher den tiefsten oder Grundton einer gedeckten wenn man mit ihrer vierfachen Länge, den einer offenen, wenn man doppelten Länge in die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles Luft dividirt. Eine offene Pfeife von 8 Fuss Länge z. B. gibt bei 18° peratur, bei welcher die Geschwindigkeit des Schalles in der Luft = Par. Fuss ist, den Ton von $\frac{1056}{16} = 66$ Schwingungen, also C. man die Pfeife, so sinkt der Grundton um eine Oktave, also auf C. den Orgeln sind gewöhnlich die Pfeifen der Contraoktave gedeckt, um nicht eine unbequeme Länge geben zu müssen *).

Von dem Grundtone ausgehend folgen die Schwingungszahlen der monischen Obertöne, bei der gedeckten Pfeife wie die ungeraden 1, 3, 5, 7, 9, ... Ist der Grundton C, so ist der nächste die Quint Oktave, also g, der dritte die Terz der Doppeloktave, also $\bar{e}$. Der gende Ton 7 liegt in der nämlichen Oktave, wie der vorhergehend hat in Beziehung auf den Grundton $\bar{c}$ den Namen der kleinen Sep erhalten. Sein Schwingungsverhältniss zu $\bar{c}$ oder $\frac{7}{4} = 1,75$ weicht von zwischen a und h eingeschalteten Tone der temperirten Skala (No. etwas nach Unten ab.

Die Schwingungsverhältnisse der Obertöne der offenen Pfeife sind

---

*) Das Tonverhältniss der gleichlangen offenen und gedeckten Pfei nicht genau das der Oktave, sondern nähert sich etwas dem der Se weil, wie schon oben erwähnt wurde, die Zurückwerfung der Wellen offenen Pfeife nicht genau am Ende der Röhre, sondern erst ausser vollständig erfolgt. Die Knotenräume verlängern sich hierdurch um und der Ton wird tiefer.

Reihe der ganzen Zahlen ausgedrückt; diese Töne sind demnach die fol-
lden:

2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
c	g	c	e	g	ais-	c	d	e	f+	g	a-	ais-	h	c

Die Orgelpfeifen werden so construirt, dass sie nur einen Ton, den
ındton rein und in möglichster Fülle geben, die harmonische Oberreihe
mmt bei ihnen nicht zur Anwendung. Bei anderen Blasinstrumenten da-
gen, wie z. B. bei dem Waldhorn, bei welchem die Röhre, der Bequem-
hkeit der Handhabung wegen, in vielen engen Windungen gebogen ist,
rechen die Obertöne leicht, der Grundton nur sehr schwer an. Bei diesem
strument, welches als ganz offene Pfeife zu betrachten ist, ist es gerade
} harmonische Oberreihe, welche zur Anwendung kommt. Die kleinen
terschiede zwischen den mathematisch reinen und den temperirten Tönen
ım der Künstler durch die Art des Anblasens corrigiren. Der etwas zu
he Ton 11 wird durch theilweises Decken des Schalltrichters mit der
ınd in das temperirte f, der etwas zu tiefe Ton 13 durch verstärktes An-
isen in das temperirte a verwandelt.

532. Bei einer grossen Anzahl von Blasinstrumenten hat man, um die
ldung von bestimmten Knotenabtheilungen zu erleichtern, Seitenöffnungen
ı der Röhre angebracht. Wenn diese Oeffnungen sämmtlich mit den Fin-
rn oder durch besondere Klappen oder Ventile geschlossen gehalten wer-
n, kann die Luftsäule im Ganzen zum Tönen gebracht werden, das Instru-
nt gibt seinen tiefsten Ton. Oeffnet man irgendwo ein Seitenloch, so
nen sich fortan nur solche stehende Schwingungen in der Röhre behaup-
, für welche ein sogenannter Schwingungsbauch, d. h. eine Stelle, an
lcher die Luft in stärkster Oscillation und von stets gleicher Dichte ist,
den Ort der Seitenöffnung trifft; der Ton wird höher. Es ist jedoch
ht ganz richtig zu sagen, der Ton sei dann der nämliche, als wenn die
ife an der Stelle der Seitenöffnung abgeschnitten und der untere Theil
z weggenommen sei. Da die Seitenöffnungen im Lichten nie die innere
ite der Röhre haben, so bleibt der Ton immer etwas tiefer, als derjenige
er Pfeife, welche vom Mundstück bis zum geöffneten Seitenloche reicht:
st so, als wenn diese Pfeife theilweise gedeckt wäre.

Der Umstand, dass Pfeifen von gleicher Länge, aber aus verschiedenem
erial, zwar gleiche Tonhöhe, aber einen verschiedenen Klang geben,
'eist, dass ein Theil der Bewegungsgrösse, welche durch das Anblasen
Pfeife mitgetheilt wird, sich von der schwingenden Luft auf die star-
Wände überträgt. Gibt man der Röhre sehr dünne und nachgebende
nde, z. B. aus Papier, welchem durch Wasserdampf seine Steifigkeit be-
mmen worden ist, so schwindet die Tonstärke der Pfeife fasst ganz da-
Sehr mit Unrecht hat man aus derartigen Versuchen schliessen wollen,
s die Schwingungen der Wände die Hauptmasse der Pfeife abgeben.
ı sieht leicht ein, dass die Starrheit der Wände für die Bildung kräftiger
lender Schwingungen der Luft eine nothwendige Bedingung ist.

533. Man hat in wissenschaftlichen Untersuchungen sehr mannichfaltige
hoden angewendet, um die in einer Röhre eingeschlossene Luftsäule zu
lenden Schwingungen zu veranlassen. Eine Platte, eine Stimmgabel,
che man am unteren Ende der Röhre schwingen lässt, reichen hierzu hin.
ch Erhitzen der Luft in einer an die Röhre angeschmolzenen Kugel
gg. Ann. XLII, 610, LXXIX, 1. Journal für prakt Chem. XXII, 129) ja
ch die Detonationen der Knallgasflamme, über welche man eine Röhre
gt, kann man dasselbe Resultat erzielen. In der ausübenden Musik sind zwei
hoden des Anblasens im Gebrauch. Entweder man treibt mittelst eines Blase-
gs oder mit dem Mund einen bandförmigen Luftstrom über eine an der Röhre

angebrachte Oeffnung, so dass der Strom sich an der entgegensteh
zugeschärften Röhrenwand spaltet und im Tempo der stehenden Luftscl
gungen aus- und einwärts oscillirt. Diess geschieht z. B. bei den
nannten Flötenwerken der Orgel, den eigentlichen Pfeifen, — oder
treibt die Luft in einen Behälter, welcher mit der Röhre nur durc
schmale Spalte in Verbindung steht, in der ein längliches schwing
Plättchen aus Messing oder Stahl (die sogenannte Zunge) so angel
ist, dass es bei seinen Oscillationen die Spalte abwechselnd gerade scl
und wieder öffnet — diess ist der Fall bei den Zungenwerken der
Es werden dabei entweder aufschlagende Zungen, d. h. solche, welc
was breiter als die Spalte, sich auf die Ränder derselben auflegen,
durchschlagende Zungen, d. h. solche, welche bei ihrer Oscillation dur
Spalte, ohne die Ränder zu streifen, gerade durchgehen können, angew

Da die Tonhöhe der Zungenpfeifen sowohl durch die Schwingungs
der Zunge, als durch die Länge der Röhre bedingt wird, so gelten für
Pfeifen überhaupt andere Gesetze, als für die Flötenwerke, sie erf
daher eine besondere Betrachtung.

534. W. Weber, welcher diese Pfeifen genauer studirt hat (
Ann. XVI. 193. XVII. 193.) bewiess zunächst, dass der sonore Ton de
weder von der Zunge noch durch die stehenden Schwingungen der l
der Ansatzröhre gegeben werde. Die Zunge einer volltönenden Pf
einen Schraubstock eingespannt und mit dem Violinbogen gestrichen,
nur äusserst schwach. Die Ansatzröhre konnte immer weiter verkü
fast ganz weggenommen werden, ohne dass der Ton der Zungenpfeife i
chem oder auch nur in annäherndem Verhältnisse schwächer wurd
bleibt demnach nur übrig, die Entstehung des Tones den Stössen zuzus
ben, welche die eingeblasene Luft, da sie abwechselnd durch die Spalt
tritt oder von der Zunge gehemmt wird, auf die jenseits befindliche ru
Luft ausübt. Die Anzahl dieser Stösse, also die Tonhöhe der Pfeife ist dur
Zahl der Schwingungen der Zunge bedingt. Allein die Zunge, von der
geblasenen Luft in Bewegung gesetzt, vermag nicht ausschliesslich den
setzen der Querschwingungen elastischer Stäbe zu folgen. Ihre Sc
gungen stehen unter dem Einfluss der Reaction, welche die stehende
cillationen der Luftsäule im Ansatzrohr auf sie ausüben. Die Tonhö
mithin auch von der Länge dieses letzteren abhängig.

Weber hat auf zwei Vorzüge aufmerksam gemacht, welche die Zu
pfeife in Folge ihrer Zusammensetzung aus zwei elementaren To
vor andern Instrumenten voraus hat. Ein feines musikalisches Geh
terscheidet sehr wohl, dass alle Töne, welche aus Längenschwing
hervorgehen, wie die Töne von Pfeifen und longitudinal schwi
den Stäben etwas in die Höhe gehen, wenn sie über eine gewisse G
hinaus verstärkt werden, während umgekehrt die Dauer der Quersc
gungen mit der Grösse derselben etwas zunimmt. Eine Stimmgabel
tönt im Abklingen etwas höher. Da die Tonhöhe einer Zungenpfeife e
seits durch die Querschwingungen der Zunge, andererseits durch die
genschwingungen stehender Luftwellen bedingt wird, so ist es leicht
beiden Elementarbestandtheile so gegeneinander abzugleichen, dass d
der Tonverstärkung auftretenden entgegengesetzten Effekte sich gerade
gleichen. Eine solche compensirte Zungenpfeife gibt einen Ton, w
vom leisesten Hauche bis zum stärksten Ansprechen sich auf genau
cher Höhe erhält.

Eine andere Folge der Zusammensetzung der Zungenpfeife aus zwe
mentaren Tonquellen ist die, dass der Ton ein einfacher, von Beit
vollkommen freier ist. Eine Saite oder Flötenpfeife oder ein schwing
Stab, lassen neben dem Grundton meist noch, wenn auch schwach, die
der harmonischen Obertöne hören, indem sich von selbst schwingende l
abtheilungen bilden, welche neben den stärkeren Schwingungen des G

s bestehen. Da aber die Reihe der Aliquottöne für die Zunge eine ; andere ist, als für die Luftsäule des Ansatzrohrs, so vermögen für Obertöne die Schwingungen der beiden Bestandtheile sich nicht zu unter-ten und es werden darum keine Beitöne gehört.

535. Wir kommen nun auf einen Fall der Interferenz zweier Wellen-züge zurück, welcher sich mit gewöhnlichen Orgelpfeifen am Besten hör-machen lässt, und welcher für die wissenschaftliche Akustik dadurch besonderes Interesse gewonnen hat, dass es gelungen ist, eine Methode Messung der Schwingungszahlen und ein Verfahren der Stimmung mu-sikalischer Instrumente darauf zu gründen, welche an Genauigkeit der Resultate alle früher bekannten Methoden (No. 512) weit hinter sich lassen.

Tartini hatte um die Mitte des 18ten Jahrhunderts bemerkt, dass bei gleichzeitigem Anschlagen zweier Töne, welche in einem einfachen harmo-nischen Verhältnisse stehen, wie vom Grundton mit Terz, Quarte oder Quinte, ausser jenen beiden noch ein dritter, weit tieferer Ton hörbar werde, ebenfalls von einfacher harmonischer Beziehung zu den beiden ursprüng-lichen Tönen. Diese tieferen Töne, welche den Namen Combinations-töne erhielten, erklären sich aus dem Zusammenwirken der Wellenzüge, welche die beiden ursprünglichen Töne tragen. Gesetzt, ein Grundton sammt seiner Terz sind gleichzeitig so angegeben, dass die vierte Verdichtungs-welle des ersten mit der fünften Verdichtungswelle des zweiten Tons gleich-zeitig zum Ohre des Hörers gelangt, so machen diese einen stärkeren Ein-druck, als die folgenden Verdichtungswellen, welche nicht gleichzeitig wir-ken. Allein bei jeder vierten Schwingung des ersten Tones kehrt die gleiche verstärkte Wirkung wieder. Findet diess in einer Sekunde mehr als 8 bis 10 mal statt, so verbinden sich diese periodisch verstärkten Ein-drücke zu einem Tone, dessen Schwingungszahl zu der des angegebenen Grundtones im Verhältniss von 1 : 4 steht.

Es ist die tiefere Doppeloktave des Grundtons. c̄ von 264 Schwingungen und ē von 330 Schwingungen gibt als Combinationston C von 66 Schwin-gungen. 66 ist das grösste gemeinschaftliche Mass der Zahlen 264 und 330 und man sieht leicht ein, dass man immer, um die Schwingungszahl des Combinationstons zu finden, das grösste gemeinschaftliche Mass der Schwingungszahlen der ursprünglichen Töne zu suchen hat. (Ueber Com-binationstöne höherer Ordnung, ihre Erklärung und die Ursachen ihrer vor-zugsweisen Hörbarkeit s. Hallström in Pogg. Ann. XXIV, 438.)

536. Bei gleichzeitigem Anschlagen von zwei Tönen, welche vom Ein-klang oder von einem andern mathematisch reinen Intervall nur um ein Weniges verschieden sind, hört man anstatt eines Combinationstones nur ab-wechselnde Ab- und Zunahmen der Tonstärke, sogenannte Schwebungen oder Stösse. Auch diese Erscheinung erklärt sich leicht aus dem Zusam-menwirken der Wellen. Gesetzt, ein Ton von 66 und ein anderer von 67 Schwingungen würden gleichzeitig angeschlagen, der erste mit einer Ver-dichtungswelle, der zweite mit einer Verdünnungswelle beginnend, so heben sich diese im ersten Augenblicke auf; allein bei der ungleichen Dauer bei-der Schwingungen verschieben sich die entgegengesetzten Wellenhälften der Töne nach immer mehr und einmal während der ersten Sekunde treffen die Verdichtungswellen beider Töne genau zusammen, am Ende des Zeitab-schnittes ist das Verhältniss wieder dasselbe wie am Anfang, in der näch-sten Sekunde wiederholen sich die nämlichen Beziehungen, und man ver-nimmt daher in jeder Sekunde einen Stoss. Stellt man die beiden Wellen-züge durch Curven dar und bildet das zusammengesetzte Wellensystem, so zeigt sich das Anschwellen und Abnehmen des resultirenden Systems dem Auge dar. — Zwei Töne von 66 und von 68 Schwingungen oder von 66 und 64 Schwingungen geben in einer Sekunde ein zweimaliges Anschwellen und Abnehmen, also zwei Stösse; überhaupt ist bei zwei Tönen, welche sich

nur wenig vom Einklang entfernen, die Anzahl der in einer Sekund[e ...] kommenen Stösse dem Unterschied der Schwingungszahlen g[leich ...] Wenn man die beiden Töne längere Zeit auf gleicher Höhe anhalten [...] wie dies bei einer gut construirten Orgel oder bei Stimmgabeln, [...] auf einen Resonanzboden aufgeschraubt und vor ungleicher Temperat[ur ge-] schützt werden, der Fall ist, so lässt sich mit Hülfe eines Sekundenzähl[ers die] auf eine Sekunde kommende Stosszahl mit Genauigkeit messen. Scheib[ler hat] hierauf eine Methode gegründet, die Schwingungszahl eines Tones zu [...] Er bestimmt die Stosszahl des Tons mit einem benachbarten höheren, da[nn zwi-] schen diesem letzteren und einem wieder etwas höheren und so fort, [bis er] zu der rein gestimmten Oktave des Grundtons gelangt ist. Die Summ[e der] gemessenen Stosszahlen ist gleich dem Unterschied der Schwingu[ngszahlen] des Grundtons und der Oktave, also gerade der Schwingungszahl des [Grund-] tons gleich.

Die Genauigkeit des Resultates leidet etwas durch die grosse [Zahl] von Messungen, welche hier erforderlich sind. Scheibler war da[rauf be-] müht, ohne das Prinzip seiner Methode zu ändern, dieselbe dadurch [zweck-] mässiger und brauchbarer zu machen, dass er anstatt des Einklangs, [andere] Intervalle in Anwendung zu bringen suchte. Demgemäss bestimmte [er auf] rein experimentellem Wege die Verhältnisse, nach welchen die Stossz[ahl mit] der Abweichung von der Reinheit, bei Benutzung anderer Intervalle [statt des] Einklangs sich ändert. Die Resultate seiner Beobachtungen, für wel[che spä-] ter Vincent*) das allgemeine Gesetz aufgefunden hat, (Ann. chi[m.] [3] XXVII. 191) sind in der folgenden Tafel enthalten.

Nr	Art der Consonanz	Verhältniss	Schwingungen mehr oder weniger für 1 Stoss.		Stö[sse] mehr oder [w...] für 1 Schw[...]	[...]
			höherer Ton.	tieferer Ton.	höherer Ton.	t[...]
1	Einklang	1 : 1	1	1	1	
2	Oktave	2 : 1	1	$^1/_2$	1	
3	Doppeloktave	4 : 1	1	$^1/_4$	1	
4	Quinte	3 : 2	$^1/_2$	$^1/_3$	2	
5	Quarte	4 : 3	$^1/_3$	$^1/_4$	3	
6	Grosse Terz	5 : 4	$^1/_4$	$^1/_5$	4	
7	Kleine Terz	6 : 5	$^1/_5$	$^1/_6$	5	
8	Grosse Sexte	5 : 3	$^1/_3$	$^1/_5$	3	
9	Kleine Sexte	8 : 5	$^1/_5$	$^1/_8$	5	
10	Duodecime	3 : 1	1	$^1/_3$	1	
11	Decime	5 : 2	$^1/_2$	$^1/_5$	2	
12	Septemdecime	5 : 1	1	$^1/_5$	1	

*) Wenn $\frac{m}{n}$ das harmonische Verhältniss zweier Töne in [den ein-] fachsten Zahlen ausdrückt, wenn km und kn die wirklichen Schw[ingungs-] zahlen dieser Töne sind, so weist Vincent nach, dass zwei Töne [vom] Schwingungsverhältniss $\frac{km+m'}{kn+n'}$ einen Stoss in einer Seku[nde ge-] ben, wenn $\frac{m'}{n'}$ der dem Verhältniss $\frac{m}{n}$ am nächsten kommend[e ...]

Hat man hiernach z. B. beim Anschlagen eines Grundtones mit einer s zu hoch gestimmten Quinte, in der Sekunde Einen Stoss, so darf man essen, dass der höhere Ton $\frac{1}{2}$ Schwingung weniger oder der tiefere :hwingung mehr machen müsste, wenn die volle Reinheit hergestellt wer-sollte. Eine Abweichung von einer Schwingung im tieferen Ton würde nach drei Stösse, eine Abweichung von einer Schwingung im höheren würde zwei Stösse in der Sekunde geben.

Die Anwendbarkeit obiger Tafel sowohl auf die Stimmung rein mathe-ischer Intervalle als auf die Tonmessung, leuchtet ein. Um eine Oktave rein immen, richtet man sie so ein, dass sie mit einem in ihrer Nähe ge-ten Hülfston eben so viel Stösse gibt, als der Grundton. Hat man den ton in der Nähe des Grundtons gewählt, so gibt die Oktave doppelt iel Stösse mit demselben als der Grundton. Die reine Stimmung einer ve beurtheilt ein einigermassen geübtes Ohr mit grosser Schärfe, bei n Intervallen leistet daher die Anwendung der Stösse verhältnissmäs-rössere Dienste.

Bei Tonmessungen auf der Orgel geht man gern auf die grosse Oktave :k, weil bei dieser die Stosszahl benachbarter Töne noch unmittelbar bar ist. Anstatt die auf eine Sekunde kommende Anzahl von Stössen t zu messen, bedient man sich eines **Metronoms**, d. h. eines Pendels, n Schwingungsdauer nach einer an demselben befindlichen Theilung halb gewisser Gränzen beliebig geändert werden kann. Man stellt dann r allmähliger Annäherung das Pendel so, dass eine leicht zählbare e von Stössen, etwa 4, 5 oder 6, gerade auf einen Pendelschlag kom-und reducirt nachher auf die Sekunde. Hätte man die Schwingungs-eines Tones e zu messen, so wäre es leicht, nach der oben beschrie-n Methode die Töne E und G im rein mathematischen Intervallenver-iss nach e zu stimmen. Misst man alsdann die Stosszahl zwischen E G, so hat man $E = \frac{1}{2}$ e, $G = \frac{6}{5} E = \frac{3}{5}$ e, also $G - E = \frac{1}{10}$ e, d. h. es ist die Summe der gemessenen Stosszahl zu verzehnfa-um die Schwingungszahl von e zu finden.

---

ibruch ist, welchen man bei Verwandlung von $\frac{m}{n}$ in einen Ketten-erhält. Das Verhältniss $\frac{km + m'}{kn + n'}$ kann aber ohne einen in aku-er Beziehung in Betracht kommenden Fehler auf folgende zwei Arten stellt werden:

$$\frac{km \pm \frac{1}{n}}{kn} \quad \text{oder} \quad \frac{km}{kn \pm \frac{1}{m}}$$

in Stoss entspricht also einer Abweichung von der Reinheit des Inter-von $\frac{1}{n}$ Schwingung im unteren Ton, oder von $\frac{1}{m}$ Schwingung eren Ton. Es ist dabei gleichgültig, ob die Abweichung nach Oben nach Unten stattfindet. Eine Abweichung von Einer Schwingung gibt n Stösse, eine gleiche Abweichung im oberen Tone m Stösse in der ide. Es ist leicht, die Uebereinstimmung der in obiger Tafel enthal-Fälle mit dieser allgemeinen Formel zu erkennen.

Auch auf die Stimmung der temperirten Skale hat Scheibler, diesen Gegenstand mit unermüdlichem Fleisse verfolgte, die bes Methode angewendet. Er übertrug für die 12 Töne einer Oktave de rirten Skale Hülfs- oder Nebentöne auf Stimmgabeln, so dass je mit dem richtigen Tone 4 Stösse auf Pendel 60 (60 Schläge in de geben musste. Mit Hülfe dieser Gabeln kann auch eine Person ohne alles musikalische Gehör ist, ein Instrument stimmen; es mi 12 richtig temperirten Töne nach dem eben beschriebenen Verfahr oberen und unteren Oktaven übertragen werden. Wie indessen a jene 12 Nebengabeln die temperirte Stimmung einer Orgel oder ei viers auf den Grund der oben S. 534 mitgetheilten Schwingung nisse der gleichschwebend temperirten Skale mit Hülfe der Stöss funden werden kann, darüber geben die nachfolgenden Schriften S und Andrer Auskunft:

H. Scheibler, über musikalische und physikalische Tonmes deren Anwendung auf Pianoforte- und Orgelstimmung, Crefeld 183 über die Scheibler'sche Erfindung überhaupt und dessen Pianof Orgelstimmung insbesondere, Crefeld 1837. Röber, Pogg. Ann. X und 492, Figur dazu im XXXI Bande.

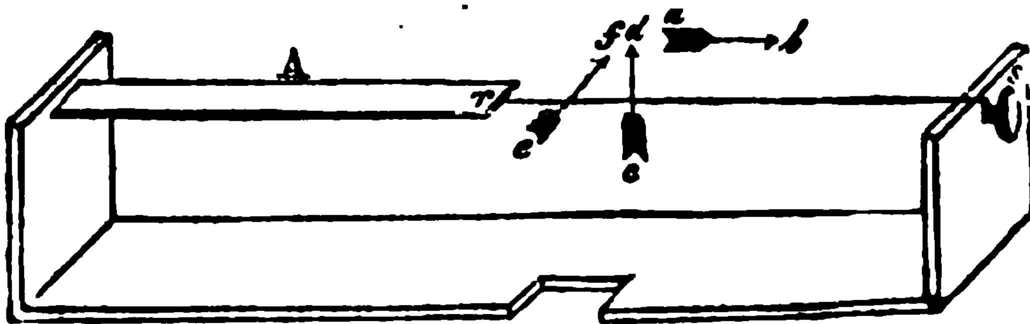
537. Die Gesetze der Saitenschwingungen sind oben (No. 4 ständig entwickelt worden. In der Musik macht man ausschlies brauch von den Querschwingungen der Saiten, welche durch de kleiner Hämmer (Flügel, Pianoforte), durch Reissen mit den Fin einem Stifte (Harfe, Guitarre, Cither), oder endlich durch Strei einem Strang mit Harz eingeriebener Rosshaare (Streichinstrument werden. Eine Saite gibt ihren tiefsten Ton, wenn sie in ihrer ganz schwingt, doch macht man in der Musik auch Gebrauch von den A oder Flageoletönen der Saiten, welche durch Unterabtheilung in 2, 3, etc. gleiche Theile entstehen.

538. Bei den Pfeifen wird das in den stehenden Schwingu Luftsäule enthaltene Bewegungsmoment fast ganz auf die Sch übertragen, welche den Ton dem Hörer zuführen; nur ein sehr Theil geht durch Reibung der Luft an den Wänden oder durch E rung derselben verloren. Anders verhält es sich mit dem Ton de Bei der geringen Oberfläche, welche diese Fäden von Metall oder dener Membran der Luft darbieten, stellt sich ein ungünstiges Ve heraus zwischen dem Theil des Bewegungsmomentes, welcher auf und demjenigen, welcher durch Reibung und Stoss an den Befe puncten auf die Unterlage übertragen wird. Eine Saite zwischen z massen ausgespannt, tönt nur äusserst schwach. An allen Saitenin ten ist daher eine Einrichtung getroffen, um auch den auf die U übergehenden Theil des Bewegungsmomentes für den Ton nut machen und man nennt diess: die Tonverstärkung durch nanz.

Savart verdankt man die Erforschung der allgemeinen Gesetze bei der Mittheilung der Schwingungsbewegung herrschen. Er fand dass die primäre Verschiebung der Moleküle stets derjenigen an d gungsstelle parallel bleibt, über wie viel verschiedene Theile eines aus starren und tropfbar-flüssigen Körpern eine Schwingungsbeweg auch verbreiten mag. Nur als sekundäre Erscheinung können da Schwingungen in anderm Sinne auftreten. Um diese Thatsache einfachen Falle anschaulich zu machen, kann man sich des folgend rates bedienen. An einem rechteckigen Gestelle (Fig. 247) ist e chen *A* von geradefaserigem Fichtenholz befestigt und in der Verl desselben eine Saite *rs* ausgespannt, welche durch Reiben mit ei

er Richtung *ab* in Längenschwingungen oder durch Streichen mit 'inbogen nach der Richtung *cd* oder *ef* in Querschwingungen ver-

Fig. 247.



rden kann. Hat man vorher das Brettchen *A* mit feinem trockenem ıd bestreut, so zeigt die Bewegung desselben und seine Anordnung nlinien, dass die Richtung der Molekularschwingungen im Brettjenigen der Saite parallel ist.

n verschiedene Körper fest miteinander verbunden sind, so kann ein solcher Bewegungszustand behaupten, bei welchem das ganze n Einklange schwingt. Jede Ursache, welche die Schwingungsdauer zelnen Theils verändert, äussert ihren Einfluss auf die Tonhöhe des nden Systems.

dagegen die einzelnen Theile nur gegeneinander gelehnt, wie die gen den Resonanzboden, so schwingt der ursprünglich erregte Theil emäss seiner Form, Elasticität und Dichte, und dieselbe Schwinler überträgt sich unverändert auf die übrigen Theile, freilich je Beschaffenheit derselben mit grösserem oder geringerem Erfolge. ıommensten überträgt sich der Schwingungszustand eines Körpers ı andern dann, wenn beide, für sich angeschlagen, einen gleichen ıen würden, also gleich gestimmt sind. In diesem Fall verle Luftwellen allein schon einen hörbaren Schwingungszustand von irper auf einen andern in gewisser Entfernung zu übertragen, indem n Stösse der Luft sich häufig und gerade in den rechten Zeitabwiederholen, um ihre Wirkungen zu summiren. Beim lauten Spre-r Singen in einem Zimmer hört man die gleichgestimmten Saiten an demselben Raume befindlichen Instrumente plötzlich erklingen. Noch der kann man diese Erscheinung wahrnehmen, wenn zwei grosse, nen gleich gestimmte und auf Resonanzkästchen aufgeschraubte beln nebeneinander aufgestellt werden und man dann die eine dernschlägt und nachdem sie kurze Zeit erklungen, ihre Schwingungen Man hört dann den nämlichen Ton in merklicher Fülle von der an-ɔel ausgehen.

solche vortheilhafte Resonanz kann man indessen an den Instruwelche eine grosse Anzahl von Tönen geben sollen, nicht anwenıl den Saiteninstrumenten begnügt man sich, sämmtlichen Saiten :ützpunct auf einem solchen Körper zu geben, welcher bei hoher ät ein hinreichend geringes Gewicht besitzt, um jeden Schwingungsmit Leichtigkeit anzunehmen. Man gibt demselben eine flache Form, ine Schwingungen sich auf einer grossen Fläche der Luft mittheiıs, Stahl und Fichtenholz entsprechen den genannten Anforderungen k ihrer Elasticität und Dichte ungefähr in gleichem Masse; allein ıg, welchen die beiden ersten Körper in dünnen Platten geben, ist em weniger angenehm, als der des geradefaserigen Fichtenholzes; daher der letztere Körper ausschliesslich zu Resonanzböden ange-An dem Stege, einem quer über den Resonanzboden laufenden uf welches sich sämmtliche Saiten stützen, findet die Mittheilung egung statt; Stäbe, welche unter dem Resonanzboden seiner Länge

nach laufen, sind bestimmt, die Eintheilung in einzelne schwing
zu verhindern, und somit die Fichtenplatte zu nöthigen, als d
Schwingungen der Saite zu folgen. Dieselben übertragen sich
Kräftigsten auf die umgebende Luft.

Auch die Luftmassen, welche in den Kästen der Guitarre, d
instrumente und des Klaviers eingeschlossen sind, dienen als
mittel, indem sie, den Schwingungen der Resonanztafel und d
folgend, selbst in stehende Oscillationen gerathen. Savart hat d
reiche Versuche gefunden, dass die Grösse dieses Luftvolums l
gleichgültig ist und man von den Verhältnissen, welche bei d
instrumenten nicht durch die wissenschaftliche, sondern durch die
Experimentirkunst festgestellt worden sind, nicht abweichen darf
Güte der Instrumente Eintrag zu thun.

539. Das schönste aller musikalischen Tonwerkzeuge, die men
Stimme, ist den Akustikern lange ein Räthsel gewesen, wennschon
bezweifeln konnte, dass sie in dem aus Knorpeln gebildeten obere
Luftröhre, dem sogenannten Kehlkopfe ihren Sitz hat. Während
einer Seite angenommen wurde, dass die im Kehlkopfe ausgespa
höchst elastischem Gewebe bestehenden häutigen Bänder, die St
der, welche der Luft zwischen sich nur einen schmalen Durchg
sogenannten Stimmritze lassen, nach Art der Saiten schwi
tönten; vertheidigte einer der einsichtsvollsten Forscher im G
Akustik, Savart, die Ansicht, dass die menschliche Stimme na
des Tones einer Flötenpfeife zu Stande komme. J. Müller bet
den wahren experimentellen Weg und wies nach, dass die m
Stimme als ein Zungenwerk zu betrachten sei, bei welchem jede
der Weichheit und Dehnbarkeit der Stimmbänder, welche hier die
Metallzunge der gewöhnlichen Zungenpfeifen vertreten, einige Mod
in den Gesetzen der Tonerzeugung eintreten. Müller überze
durch Experimente an natürlichen Exemplaren, dass die Luftröh
Anblaserohr dient, die oberen Räume des Kehlkopfs, der Mund- u
höhle, als Resonanzmittel dienen und den Klang der Stimme m
dass die Tonhöhe aber allein durch die Schwingungsdauer der Stimml
dingt ist. Diese hängt hauptsächlich ab von dem Grade der An-
spannung der Stimmbänder, erzeugt durch Muskeln, welche d
Knorpel, woran die vorderen Enden jener elastischen Bänder befe
vor- oder rückwärts ziehen. Indem Müller einen natürlichen
aufspannte und die Wirkung der Muskeln durch den Zug von Gew
setzte, vermochte er durch Eintreiben von Luft beinahe den ga
fang der menschlichen Stimme hervorzubringen. Doch kann auch
chend von dem Verhalten starrer Zungen, der Ton membranöser Z
gleichbleibender Spannung durch stärkeres Blasen in die Höhe
werden. Ueberhaupt sprechen die tieferen Töne schon bei geringer
an, ganz leise schon bei einem Drucke, welcher durch eine W
von 1,5 bis 2 Centimeter gemessen wird, während zum leise
sprechen z. B. von a schon ein Druck von etwa 16 Centimeter
wird.

Endlich glaubt Müller sich überzeugt zu haben, dass bei den
chen des zweiten Registers der menschlichen Stimme, der sogenan
sett- oder Fistelstimme nur die äussersten, der Stimmritze
liegenden Ränder der Stimmbänder unter Einwirkung eines verhä
sig geringen Luftdrucks in Schwingung versetzt werden.

Alle Theile des Kehlkopfs, insbesondere die Stimmbänder
Stimmritze, sind bei dem weiblichen Geschlechte von geringerer
bei dem männlichen und es ist in Folge hiervon der musikalisc
der Stimme verschieden. Bass (F bis $\overline{es}$), Baryton (B bis $\overline{f}$), t

is b) finden sich nur bei Männern; Alt (f bis f) und Sopran is c) dagegen bei Weibern und Kindern. Der gewöhnliche Umfang einigermassen geübten Stimme beträgt zwei Oktaven.

549. Das Gehörorgan. — Der Apparat, welcher Menschen Thieren zur Aufnahme von Schallwellen dient und die Emlung der Töne vermittelt, ist seinem anatomischen Baue nach genau, der physiologischen Bedeutung der einzelnen Theile ı nur unvollkommen erforscht. Ein vom Gehirn ausgehender 'enstrang ist auch hier, wie bei jeder Sinneswahrnehmung, wesentlichste Theil. Derselbe breitet sich bei dem mensch- :n Ohre mit seinen feinen Endfasern im Innern dreier engen ıren, der halbcirkelförmigen Kanäle und zweier ıeckenartig zusammengewundener Gänge, der Schnecke, welche aus knöchernen Wänden gebildet, in die festeste chenmasse des Schädels eingelagert sind. Diese Räume, das :nannte knöcherne Labyrinth, sind mit schlauchförmiger ıbran, dem häutigen Labyrinth, ausgekleidet und dieses einer wässerigen Flüssigkeit, dem Gehörwasser, welches feinen Fasern des Gehörnervs umspült, gefüllt. Die Schall- len, welche auf die Ohrmuschel treffen, dringen durch den seren Gehörgang ein und treffen auf eine feine gespannte Mem- ı, das Trommelfell, welche die sogenannte Trommel- oder ıkenhöhle gegen den äusseren Gehörgang abschliesst. Die tung der Schallschwingungen vom Trommelfell durch die melhöhle zum Gehörwasser des Labyrinths und somit zum ven geschieht auf zwei Wegen. Die Gänge des Labyrinths den in die Trommelhöhle durch zwei mit feiner Haut geschlos- e Oeffnungen, der untere Gang der Schnecke durch das de Fenster, die Erweiterung eines der halbcirkelförmigen äle, der sogenannte Vorhof, in welchen auch der obere neckengang mündet, durch das ovale Fenster. Die Mem- n des runden Fensters wird durch die Wellen erschüttert, che durch die Luft der Trommelhöhle fortgehen. Die Leitung ı ovalen Fenster, welche nach J. Müllers Beobachtungen nachgeahmten, künstlichen Apparaten, die wirksamere sein , wird durch eine Kette äusserst feiner und zierlicher Knöchel- n vermittelt, welche ineinander eingelenkt sind. Das erste ıchelchen, der Hammer, ist mit einem Fortsatz ins Trommel- verwachsen, während der andere Fortsatz auf dem zweiten ıchelchen, dem Ambos, ruht. Es folgen dann das linsenför- ;e Bein und der Steigbügel, welcher mit seiner unteren he so auf dem ovalen Fenster aufsteht, dass ringsum nur ein naler häutiger Rand bleibt, an welchem der Steigbügel unter Einfluss des Schallwellen hin und her zittert.

Die Luft in der Trommelhöhle wird durch einen nach der

Mundhöhle hinführenden Gang, die Eustachische Röhr
der äussern Luft auf gleicher Spannung erhalten. Wenn be
stopfung dieser Röhre, durch Luftabsonderung im Innern,
durch Krankheit der Spannmuskeln des Trommelfells, die
einen Zustand allzugrosser Anspannung versetzt ist, tritt Sc
hörigkeit ein, welche indessen mit Entfernung der Ursach
hört. Noch leichter ist der Fehler zu verbessern, wer
Schwerhörigkeit durch Verstopfung des äussern Gehör
durch Schmutz oder dergl. herbeigeführt ist. Das Gehör
verschwindet aber nicht, wenn die Kette der Gehörknöch
zerstört wird; es besteht dagegen nicht länger, wenn ein
vom Labyrinth zur Trommelhöhle führenden Fenster geöffne
das Gehörwasser ausfliesst und der trocken gelegte Geh
abstirbt.

Man hat, weil Schallwellen nicht allein durch die Luf
dern auch durch die feste Knochenmasse des Kopfes zu
hörnerven geleitet werden, ein einfaches Mittel, um zu beurt
ob der Nerv noch lebt und in Thätigkeit ist. Ein Metallstüc
eine Schnur befestigt, welche man zwischen den Zähne
oder eine Stimmgabel auf den Kopf aufgesetzt, müssen, we
zum Tönen gebracht werden, auch bei anscheinender Ta
noch vernehmbar sein, wenn die Krankheit nicht in dem N
selbst ihren Sitz hat.

Was übrigens den Gehörnerv vor andern Nerven be
die Schallschwingungen als Ton zu empfinden und die Sch
keit, mit welcher sich diese Schwingungen wiederholen,
grosser Leichtigkeit zu schätzen, ist eben so wenig bekan
zu welchem Zweck die halbcirkelförmigen Kanäle un
Schnecke ihre eigenthümlichen Formen haben.

XII. Von dem Lichte.

Erste Abtheilung.

541. Die Natur hat uns die Fähigkeit verliehen, Gegen
Gestalt, Grösse, Farbe der Körper aus der Entfernung zu e
nen, die Körper zu **sehen**. Das Organ, durch dessen Besit
dieses Vermögen erlangen, das **Auge**, ist jedoch nur die ve
telnde Geräthschaft zu diesem Zwecke, die Ursache des Se
kommt von Aussen. Die Körper, um für uns sichtbar zu

nicht nur dem Auge gegenüberstehen, sondern auch sich
ı gewissen Zustande, in dem des Leuchtens befinden.
irken dann einen eigenthümlichen Eindruck auf den Ge-
ın, sie bringen darin diejenige Empfindung hervor, die
lligkeit nennen. Die äussere Ursache dieser Einwirkung
icht.

meisten Körper besitzen nicht selbstständig das Vermö-
hteindrücke hervorzubringen, und sind dann nicht durch
sse Gegenwart sichtbar. Mann nennt sie nicht leuch-
oder dunkle Körper, zur Unterscheidung von den selbst-
enden oder den Lichtquellen. Zu den letzteren gehö-
Sonne, die Fixsterne, die Flamme.

h genügende Temperaturerhöhung können alle Körper glühend, d. h.
htend werden. — Licht durch Verbrennung oder andere chemische
ıgsprozesse; electriches Licht. — Manche Körper werden schon
ringe Temperaturerhöhung, oder nachdem sie eine kurze Zeit den
rahlen ausgesetzt waren (durch Insolation) im Dunklen leuchtend,
urch eine merkliche Aenderung ihrer chemischen Beschaffenheit zu
Man nennt diese Erscheinung Phosphorescenz.

hr auffallendem Grade zeigt sie der Flussspath, von dem einige
hon unter dem Siedpuncte leuchtend werden; Diamant, Schwefel-
Schwefelcalcium, Arsenikcalcium und andere Kalkverbindungen.
dieser Körper, wenn sie durch Bestrahlung phosphorescirend
sind, behalten im Dunklen und im verschlossenen Raume
rt, diese Eigenschaft oft mehrere Stunden und selbst Tage

schwache Leuchten des faulen Holzes, faulender Seefische und
sekten beruht, wie das des Phosphors auf einer langsamen Ver-
. — Phosphorescenz des Meeres.

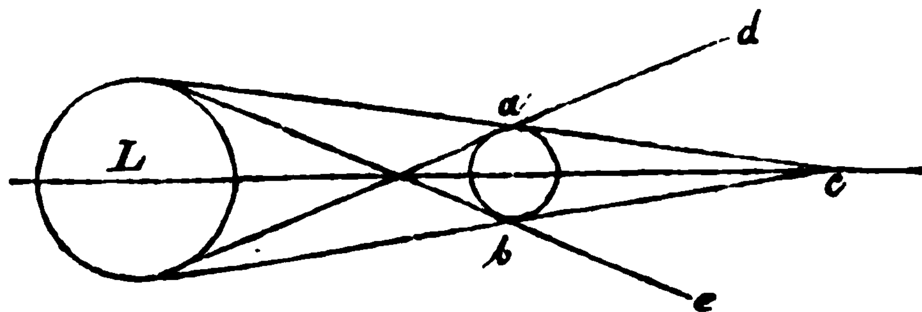
. In der Umgebung eines stark leuchtenden Körpers er-
n die ursprünglich dunklen ebenfalls leuchtend und werden
sichtbar.

Eindruck eines leuchtenden Körpers auf das Auge wird
iele andere Körper aufgehoben, sobald sie in die gerade
vischen das Auge und den leuchtenden gelangen. Wieder
wie Luft, Glas, Wasser lassen Lichteindrücke durch. Man
ıeidet daher undurchsichtige und durchsichtige Körper.
Körper, die zwar etwas Licht durchlassen, aber dem Auge
estatten, die Quelle desselben zu erkennen, nennt man
scheinende.

r Raum hinter einem undurchsichtigen Körper, z. B. der
inter einem Schirme, in welchen das Licht nicht ein-
kann, heisst der Schatten des ersteren. Wenn die
elle nur ein Punct ist, und man von diesem aus ge-
nien nach dem Rande des Schirmes zieht, so wird der
ı desselben genau durch die Verlängerungen dieser Linie
t; so dass der Schatten im Allgemeinen die Umrisse des

Gegenstandes selbst wiedergibt. Hat hingegen die Li einen beträchtlichen Umfang, so ist der Schatten nicht s gränzt, sondern es findet von dem inneren Theile desse (Fig. 248), dem sogenannten **Kernschatten**, in wel

Fig. 248.



kein Licht von dem Körper *L* aus gelangen kann, bis zu sten Umgränzung, durch die verschiedensten Abstufu Helligkeit, ein allmählicher Uebergang statt. Dieser äuss des Schattens, innerhalb dessen ein um so grösserer leuchtenden Körpers sichtbar bleibt, je näher sich das den Gränzlinien *ad* oder *be* befindet, wird **Halbscha** nannt. — Ganze und theilweise Verfinsterungen der Erd Mondes. —

Aus dem Verhalten des Schattens geht hervor, dass wirkungen in gerader Linie fortschreiten. Einen fernere für diesen Fundamentalsatz der Lichtlehre findet man i fahrung, dass wenn eine Platte mit enger Oeffnung zwis Auge und einen kleinen Gegenstand gestellt wird, letz dann sichtbar ist, wenn die von demselben gegen die gerichtete Gerade zugleich in das Auge fällt. — Anwend die Lehre der Perspective. Perspectivische Zerrbilder morphosen.

Eine gerade Linie von einem leuchtenden Puncte beliebiger Richtung gezogen, heisst **Lichtstrahl**. Di druck ist unabhängig von jeder Vorstellung über die Un Lichtes und soll nur die Thatsache bezeichnen, dass pflanzung von dem Lichtpuncte aus nach geraden Linien allen Richtungen geschieht.

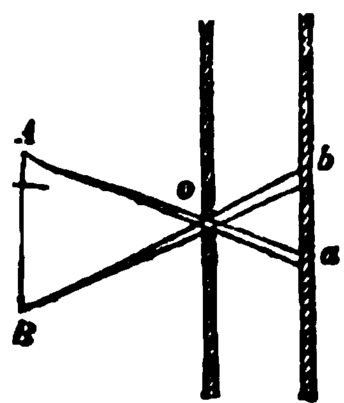
Ein kegelförmiger Raum, der einen leuchtenden P Scheitel, die Pupille des Auges, oder irgend eine and Fläche zur Basis hat, wird **Lichtkegel** (auch Li Strahlenkegel) genannt. Die Axe des Kegels heisst **strahl**.

543. Befindet sich einem leuchtenden Gegenst genüber ein Schirm und in diesem eine enge Oeffnung gültig ob rund, dreieckig, viereckig oder wie sonst ge dringt durch dieselbe von jedem Lichtpuncte aus ei Lichtstrahlen. Auf einer weissen Wand, hinter der Oeffi

igt sich dann ein verkehrtes Bild, dessen Grösse (lineare nension) sich zu der des Gegenstandes verhält, umgekehrt wie der Abstände von der Oeffnung.

Es ist leicht, zu sehen, dass jeder Lichtpunct eines Gegenndes *A B* (Fig. 249) nur einen einzigen kleinen Fleck auf der weissen Wand beleuchten kann und dass folglich die von verschiedenen Puncten aus erzeugten hellen Flecke eine dem Gegenstande selbst ähnliche Figur bilden müssen, deren Grösse in demselben Verhältnisse wie der Abstand der weissen Wand von der Oeffnung zunimmt. — Bilder der Sonne, im Schatten dicht belaubter Bäume, hervorgebracht durch das hier und da zwischen den Blättern durchfallende Licht. —

Fig. 249.



Auf ähnliche Weise kann man in jedem verdunkelten Raume, der aussen befindlicher Gegenstände erhalten, wenn man den n diesen ausgehenden Lichtstrahlen nur durch eine enge Oeffng den Zutritt gestattet. Die Umrisse dieser Bilder sind jedoch ner etwas verwaschen, weil jeder Punct von welchem Licht sgeht, im Bilde nicht wieder einen Punct, sondern eine kleine iche beleuchtet. Die von verschiedenen Lichtpuncten beleuchen Flecke greifen bei zunehmender Grösse der Oeffnung mehr d mehr in einander. In demselben Verhältnisse verlieren die der an Deutlichkeit und verschwinden bei sehr grossen Oeffngen ganz. — So erzeugt das durch die Fenster einfallende ht keine Bilder, sondern nur den allgemeinen Eindruck von lligkeit.

544. Der innere Raum des Augapfels ist mit Flüssigkeiten sgefüllt, die fast eben so durchsichtig sind, als die Luft. In se durchsichtige Masse werden die Lichtstrahlen nur durch eine ine, kreisrunde Oeffnung, das **Lichtloch** oder die **Pupille** zulassen; auf einer weissen Fläche im Hintergrunde des Auges, der **tzhaut** (retina) müssen daher verkehrte Bilder der äusseren ngebungen entstehen, ganz so wie unter ähnlichen Bedinngen in jedem andern verdunkelten Raume. —

An einem noch frischen Ochsenauge lassen sich diese Bilder rklich beobachten, wenn man den hinteren Theil der weissen, rten Haut, welche den Augapfel umschliesst, bis auf die halbrchsichtige Netzhaut ablöst, und diese dann von der hintern ite betrachtet. Die Bilder erscheinen jedoch dem gesunden ge nicht verwaschen sondern mit scharfen Umrissen, aus em Grunde, der erst später erläutert werden kann, der übrins auf die Lage und das Grössenverhältniss der Bilder keinen nfluss hat.

Die Netzhaut ist die hautartige Erweiterung eines N
strangs, des **Sehnerven**, der vom Gehirn ausgehend
Augenhöhle eindringt, die harte Haut des Augapfels durchse
dann im Innern sich als Netzhaut ausbreitet. Durch Vern
dieser für jeden Eindruck von Aussen überaus empfindlich
venverzweigung kommt die Empfindung des Lichts zu u
Bewusstsein.

Der Gesammteindruck der äusseren Gegenstände
Netzhaut ist zwar für einen vom Auge getrennten Beobach
eines verkleinerten, verkehrt stehenden Bildes. Aber unser
durch die Erfahrung gebildet, versetzt jeden Eindruck, den
eignen Auge empfangen, von dem Puncte aus, an welc
gefühlt wird, durch den Durchkreuzungspunct der Strahle
Aussen und zu der Stelle, von wo er abstammt. Es übert
Wirkung auf deren Ursache; deren Dasein dadurch gle
selbst zum Bewusstsein kommt. Daher empfinden wir nic
den Bildern auf unserer Netzhaut, sondern wir seh
Gegenstände ausserhalb des Auges und in der Tiefe des R
wir sehen sie nicht verkehrt, sondern jeden Punct in der R
des von ihm zum Auge gesendeten Strahlenkegels (gen
der Richtung des Hauptstrahls, welcher, wie wir späte
werden, der einzige ist, der innerhalb des Auges unverä
der geraden Linie fortschreitet).

Jeder Druck der die Netzhaut erreicht, wird als Licht e
den. Drückt man z. B. mit dem Finger in der Nähe der
wurzel gegen die Augenhöhle, so hat man alsbald eine l
scheinung. Die Gewohnheit, die Ursache eines Lichteindru
dem Auge zu suchen, ist aber so mächtig, dass man auch
sem Falle das Licht nicht an der Stelle, wo der Finger di
haut drückt, sondern gerade auf der entgegengesetze
wahrzunehmen glaubt.

515. Alle äusseren Gegenstände sind auf der Netzh
Flächen dargestellt; alle, die näheren wie die entfernteren
in ihren Bildern auf der Netzhaut nebeneinander und be
einen Theil derselben. Das Grössenverhältniss dieser Bil
zeichnet die **scheinbare Grösse** der Gegenstände od
mehr die ihrer auf eine Kugeloberfläche, deren Mittelpu
Auge liegt, projicirten Oberflächen.

Gesichtswinkel nennt man den Winkel, welche
Umgränzungspuncte eines Körpers mit dem Kreuzungs
der Hauptstrahlen als Scheitelpunct bilden. Zwei Körper,
in ungleichem Abstande vom Auge befinden, haben gleiche
bare Grösse, wenn ihre Gesichtswinkel gleich sind.

Man denke sich vor dem Auge eine Kugelfläche, v

spunct als Mittelpunct, mit beliebigem Halbmesser ge-
d richte dann von diesem Mittelpuncte aus gerade Linien
wirklichen Umgränzungen eines entfernten Gegenstan-
s zweiten, eines dritten u. s. w. Die durch diese Linien
ugeloberfläche gebildeten Figuren entsprechen den Bil-
letzhaut.

wirkliche Inhalt einer leuchtenden Fläche heisse A,
id von der Pupille D, so ist ihre scheinbare Grösse

Man findet die wirkliche Flächengrösse eines Gegen-

ndem man die scheinbare mit dem Quadrate des Abstan-
licirt.

Eindruck, welchen diejenigen Gegenstände auf uns ma-
en Abstand zu beurtheilen uns der Massstab oder die
ehlt, wie Sonne, Mond, entfernte Gebäude, ist stets der
inbaren Grösse. Bei ganz nahe liegenden Körpern da-
cht uns Gewohnheit und Urtheil mehr und mehr unab-
on dem Grössenverhältnisse ihrer Bilder und wir er-
e in ihren natürlichen Dimensionen.

Von dem Lichte, welches die Oberfläche der Körper
l stets ein mehr oder weniger grosser Theil zurückge-
Ein anderer Theil dringt in die Masse der Körper ein und
ıdet dann in den einen spurlos (undurchsichtige Körper),
er von andern in grösserem oder geringerem Verhält-
chgelassen wird (durchsichtige Körper).

Zurückwerfung des Lichtes. (Katoptrik). —
ckwerfung (Reflexion) geschieht nach Gesetzen,
lenen der Zurückwerfung elastischer Körper aufs ge-
ibereinstimmen. Man erkennt diess am deutlichsten,
ı im dunklen Zimmer einen Körper mit ebner, sehr glat-
elnder) Oberfläche, den durch eine enge Oeffnung ein-
Strahlen der Sonne oder einer argantischen Lampe ent-
lt.

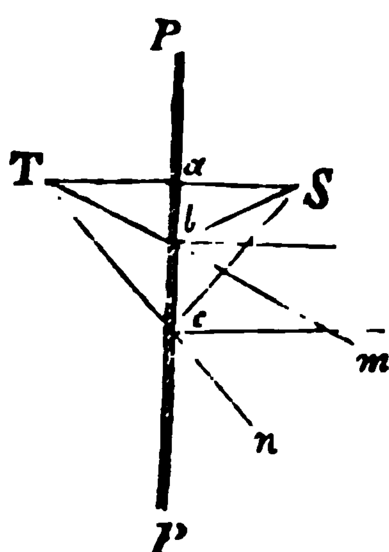
Spiegelfläche sei bis auf eine einzige kleine Stelle mit
m Papier belegt. Man denke sich auf diesem spiegeln-
ein Loth *ab* (Fig. 250) und durch dasselbe in beliebi-
ıng eine Ebne gelegt. Befindet sich nun der Lichtpunct *s*
50. in dieser Ebne, so ist auch der von *a* zurückge-
worfene Strahlenbündel in derselben enthalten,
und zwar nimmt der zurückgeworfene Strahl *at*
einen solchen Weg, dass Winkel $tab = sab$.
Der zurückgeworfene Lichtstrahl liegt also in der Ebne, welche der einfallende mit der Normale bildet (in der Einfallsebne), und der Winkel den er mit der



Normale einschliesst (der Ausfallswinkel) ist dem Einfallswinkel gleich.

Nach diesem Gesetze lassen sich die Wege bestimmen, welche verschiedene, von einem leuchtenden Puncte ausgesendeten Strahlen, nach der Zurückwerfung von einer ebnen, gut polirten Fläche nehmen müssen. Es bezeichne *P P* (Fig. 251) die spiegelnde Ebne; *b* und *c* seien die Einfallspuncte zweier vom Puncte *S* ausgehenden Lichtstrahlen, so werden diese durch Reflexion die Richtungen *bm* und *cn* erhalten. Man verlängere diese Linien bis zu ihrem Durchschnittspunct *T* und ziehe *ST*. Nun sind die Dreiecke *Sbc* und *Tbc* gleich, weil sie die Linie *bc* gemeinschaftlich haben und sowohl die beiden bei *c* wie die bei *b* anliegenden Winkel gleich sind. Es ist also *Sb* = *Tb*. Daraus folgt weiter, dass auch die Dreiecke *Sab* und *Tab* einander gleich sind. Es ist daher *Sa* = *Ta* und die Linie *ST* steht winkelrecht auf der Spiegelfläche. Dieselbe Betrachtung gilt für alle andern Strahlen, die von *S* aus den Spiegel treffen. Alle diese Strahlen bekommen daher durch die Reflexion eine solche Richtung, als kämen sie von einem Puncte *T* her, eben so weit hinter der Spiegelebne liegend, als *S* sich vor derselben befindet, So erklärt es sich, dass scheinbar hinter dem Spiegel der leuchtender Punct *T*, nämlich das Bild des Punctes *S* sichtbar wird.

Fig. 251.



Angenommen die Breite des Spiegels beschränke sich auf die Linie *bc* (Fig. 251), so lehrt das vorgetragene Reflexionsgesetz, dass das Spiegelbild des Punctes *S* nur von demjenigen Auge wahrgenommen werden kann, welches sich in der Winkelöffnung *mTn* befindet. Da jede Aenderung in der Lage der Spiegelebne eine geänderte Stellung des Lothes *ST* nach sich zieht, so begreift es sich, dass durch die geringste Verrückung des Spiegels auch das Bild verrückt werden muss.

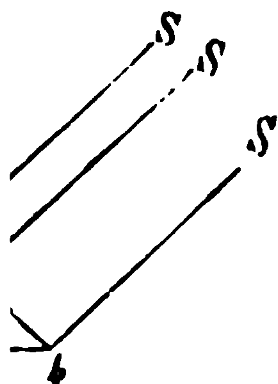
Körper mit rauher Oberfläche sind aus zahllosen sehr kleinen Flächenstückchen zusammengesetzt, welche in mannichfaltiger Weise gegen die Hauptrichtung geneigt sind und daher dem Bilde eines jeden leuchtenden Punctes eben so mannichfaltige Stellungen anweisen müssen. Die ursprünglich von einem einzigen Puncte ausfliessenden Strahlen werden dadurch so zerstreut, wie wenn sie von unzähligen Puncten abstammten. Der Eindruck der Lichtquelle verwischt sich und jeder reflectirende Punct erscheint als selbstständiger Lichtpunct. Die Sichtbarkeit dunkler Körper beruht hiernach nur auf den Unebenheiten ihrer Oberflächen, vermöge der sie die einfallenden Lichtstrahlen **zerstreuen**. Eine vollkommen spiegelnde Fläche würde, weil sie alle einfallenden Strahlen in unveränderter Ordnung wieder zurückwirft, also Bilder der vor ihr befindlichen Gegenstände erscheinen lässt, selbst nicht sichtbar sein können. Unsere besten Spiegel sind indessen nicht frei von Unebenheiten und zerstreuen daher einen Theil des Lichtes von dem sie getroffen werden. — Körper mit vorherrschend ebner Oberfläche, wie glattes Papier, matt geschliffenes Glas, spiegeln im schief einfallenden Lichte, weil bei dieser Neigung der einfallenden Strahlen vorzugsweise nur

Sinne der Hauptrichtung reflectirten zum Auge gelangen

}. Dunkle Flächen empfangen von einer gegebenen Licht- ine um so grössere Lichtmenge, je mehr sie den einfallen- ıhlen senkrecht entgegengestellt werden. Im Allgemeinen sich die Stärke der Beleuchtung wie der Sinus des Win- n die Lichtstrahlen mit der von ihnen beleuchteten Fläche

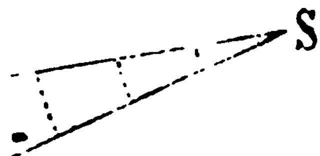
Linien *bS*, *cS*, *dS* (Fig. 252) mögen die Richtung der Sonnenstrahlen bezeichnen. Eine Fläche *ab* = *db* nimmt offenbar einen möglichst grossen Bündel davon auf, wenn sie von denselben, wie in der Lage *db* senkrecht getroffen wird. In einer beliebigen anderen Lage *ab* steht die Menge des wirklich einfallenden Lichtes zu derjenigen Menge, welche bei der günstigsten Lage einfallen könnte, im Verhältniss der Linien, *cb* zu *bd*. Dieses Verhältniss ist aber gerade das, welches Sinus des Neigungswinkels *cab* genannt wird. — Anwendung auf die Kraft der Sonnenstrahlen zu verschiedenen Tages- und Jahreszeiten, so wie unter verschiedenen Breiten.

Fig. 252.



). Bei gleicher Neigung zweier Flächen gegen die Licht- wird diejenige am stärksten beleuchtet, welche der Licht- m nächsten steht; und zwar verändert sich die Lichtwir- n einer Fläche zur andern, umgekehrt wie die Quadrate ihrer Abstände von dem Ausgangspuncte der Strahlen.

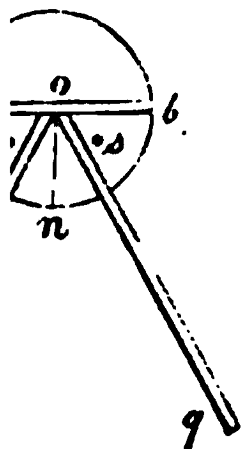
'ig. 253.



Die von einem leuchtenden Puncte *S* (Fig. 253) ausgesendeten Strahlen bilden einen Kegel, dessen Basis zwar in jedem Abstande eine gleiche Lichtmenge erhält; da aber der Flächeninhalt der Basis im Ver- zum Quadrat des Abstandes wächst, so muss die Licht- auf die Flächeneinheit in demselben Verhältnisse ab-

lie Richtigkeit dieses Gesetzes, durch ein Experiment anschaulich n, kann man sich des Photometers (Lichtmessers) von Rum- lienen.

;. 254



Ein kreisrundes Tischchen, am Rande mit einer Theilung versehen, ruht auf Schraubenfüssen, um es horizontal stellen zu können. Auf demselben steht senkrecht ein mit weissem Papier bekleidetes Brett *ab* (Fig. 254), das um eine über den Mittelpunct *o* des Tischchens senkrecht sich erhebende Axe drehbar ist, und so auf einen beliebigen Grad der Theilung eingestellt werden kann. Von derselben Axe, gleichsam als verlängerte Radien, laufen in horizontaler Richtung die beweglichen Arme *op* und *oq* aus. Sie sind mit einer beliebigen Längentheilung versehen, und jeder trägt einen sehr leicht verschiebbaren Schlitten,

dessen obere wagerechte Fläche noch überdies eine Verschiebung i
rechter Richtung gestattet und hinlänglichen Raum bietet, um eine
oder andere Lichtquelle darauf aufstellen zu können. Die Arme ;
q o werden so eingestellt, dass sie mit der Normale *o n* gleiche
bilden. Dann bringt man auf jeden Schlitten eine argantische La
richtet deren Flammen auf gleiche horizontale Höhe und in gleic
stand vom Puncte *o*. Beide Flammen sammt ihren Glasschornstei
mit hohen Blechcylindern umgeben, welche das Licht nur durch eine
kleine, viereckige Oeffnung unmittelbar vor der Flamme durchlasse
erhält dadurch gleichsam zwei viereckige Lichtflächen (von etwas g
rem Umfang als die Flamme), die ihre Strahlen aus gleicher Ent
und in gleicher Neigung gegen die weisse Papierfläche werfen. Bei
nahe vor dem Brettchen, stehen auf dem Tischchen zwei Säul
schwarzgefärbtem Holze, die bis zur Höhe der Lichtflächen aufstei
folglich auf dem Papier zwei beschattete Streifen dicht nebeneinan
den müssen. Der von der einen Lampe abhängige Schatten wird
Flamme der andern Lampe beleuchtet; beide Schatten können dahe
man sie von einem in der Verlängerung der senkrechten Linie *o n* ge
Standorte aus betrachtet, nur dann gleich dunkel erscheinen, wen
Flammen gleiche Lichtmengen aussenden. Da nun beide dunkle
leicht so gerichtet werden können, dass sie unmittelbar an einand
zen, so lässt sich der Punct gleicher Dunkelheit, oder beziehun
gleicher Leuchtkraft der Flammen, durch geeignetes Verrücken der L
dochte bald und mit Sicherheit erfassen.

Schiebt man hierauf die eine Lampe auf die Hälfte ihres anfä
Abstandes vom Puncte *o*, so wird man finden, dass $^3/_4$ der viereckige
fläche geschlossen werden müssen, um beide Schatten wieder gl
machen. Also $^1/_4$ der Lichtfläche in dem Abstande $^1/_2$ macht eben
als die vierfache Lichtfläche aus doppelter Entfernung.

Angenommen Winkel *p o q* sei 60°, man drehe das Brett *a b* so
o q senkrecht darauf steht, der Neigungswinkel des andern Armes
gen die Papierfläche wird dann nur 30° betragen. Gesetzt diese
war vorher von beiden Lampen aus gleichem Abstande gleich st
leuchtet worden, so wird man die Lichtfläche der auf dem Arme
findlichen nunmehr zur Hälfte bedecken müssen, um beide Schatte
gleich zu machen. Es ist aber bekanntlich $\sin 30° = ^1/_2$.

Mit Hülfe des Photometers kann man die Stärke verschiedener
quellen vergleichen. Gesetzt, auf dem einen Arme werde eine arga
Lampe, die während einiger Stunden sehr gleichmässig hell macht, in
Abstande aufgestellt; auf den andern Arm bringt man nach einand
schiedene Lichtquellen in solche Abstände, dass die auf die Papie
geworfenen Schatten jedesmal genau gleich werden, so müssen s
Stärken dieser Lichtquellen verhalten, umgekehrt wie die Quadra
Abstände, von welchen aus sie die weisse Fläche *a b* gleich sta
leuchteten.

So sind z. B. die in der folgenden Tabelle zusammengestellten Be
erhalten worden.

	Verbrauch stündlich.	Abstand, für gleiche Helligkeit.	Anzahl für gleiche Helligkeit.	Relativer Verbrauch an Brennstoff für gleiche Leuchtkraft.
ische Lampe e mit doppel-iftzug) . . .	32 Grm.	100	1	1
mit flachem und Glas-stein . . .	15,4 „	69	2,1	1,01
ll'sche Lampe	3,4 „	26	14,9	1,55
e (Achter) .	7 „	33,6	9	1,97
5 auf's Pfund, ı	8,6 „	36,7	7,4	2
rze (Achter)	7,7 „	30	11,1	2,67
(Sechster)	11,7 „	37	7,3	2,67

ıt des Rumford'schen Photometers lassen sich mit einiger Ge- nur solche Lichtquellen vergleichen, deren Farbe gleich oder ıehr wenig verschieden ist, denn das Auge, so empfindlich es ist ringsten Unterschiede im Grade des Helligkeit neben einander lie- ässig beleuchteter, gleichfarbiger Flächen, verliert doch sogleich ısen Theil dieser Fähigkeit, sobald zwei nebeneinander liegende r Schattenstreifen ungleiche Farbe haben.

ıe Unvollkommenheit theilt die auf gleichem Principe beruhende ;, welche Potter und nachher Ritchie getroffen haben und die ht, zwei neben einander in derselben Ebne liegende Streifen von apier oder von mattem Glase von der hinteren Seite, jeden aber andere Lichtquelle zu beleuchten und letztern so lange zu ver- bis beide Streifen, von der vorderen Seite betrachtet gleich hell

ıt zur Messung der Lichtstärke (Photometrie) noch verschiedene fsmittel benutzt oder zur Benutzung vorgeschlagen. Dahin gehö- aston's Photometer zur Vergleichung des Lichts der Sonne und der gg. Ann. 16. 328); Lampadius Photometer (Schweigger's Journal ıch Gehl. Wört. VII. 484); De Maistre's Quetelet's und Ara- ımeter (Pogg. Ann. 29. 186); Humboldt's Astrometer (Pogg. 484); Talbot's Photometer, welchem das Prinzip zu Grunde liegt, urch rasche Umdrehung einer kleinen Lichtfläche im Auge gebil- ıtende Ring, verglichen mit dem Bilde der ruhenden Lichtquelle, nselben Verhältnisse geringere Lichtstärke besitzt, als sein Um- ·össe die Breite der Lichtfläche übertrifft (Pogg Ann. 35. 457).

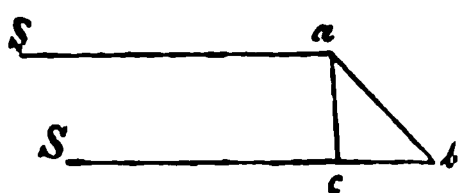
Wollaston ist die Lichtstärke der Sonnenstrahlen gleich der- ı 5560 Wachskerzen, welche sich in nur 1 Fuss Abstand von der n Fläche befinden. Die Lichtstärke des Vollmondes dagegen be- $^1/_{144}$ von derjenigen einer Kerze bei 1 Fuss Entfernung. Ferner leuchtende Kraft des Sirius 20,000 Millionen mal schwächer sein Sonne.

Die Lichtstärke, welche die einzelnen Puncte einer le entfalten, nennt man ihren Glanz. Sind alle Puncte berfläche einer Lichtquelle gleich glänzend, so verhält

sich ihre Leuchtkraft wie die Grösse ihrer Oberfläche m mit dem Glanze. Die leuchtende Kraft ist ausserdem n die Erfahrung lehrt, von der Neigung der Lichtfläche g ausfallenden Strahlen abhängig.

Es sei z. B. *a b* (Fig. 255) die Richtung der Lichtfläch *b S* diejenige eines Strahlencylinders, so wird die Lich

Fig. 255.



in dieser Richtung gerade so g wie die einer Lichtfläche *a c* von Glanze, welche auf der Richtung d len senkrecht steht. D. h. die Le der Lichtquelle verhält sich zu chengrösse wie $\frac{ac}{ab} = sin.\ abc$. Dass dem so sei, man daraus, weil eine gleichmässig glühende Kugel aus fernung betrachtet, ganz den Eindruck einer glühende von überall gleichem Glanze hervorbringt, und weil sic auch die Sonne verhält.

Die Helligkeit, welche durch eine beliebige Lichtq einer weissen, den Strahlen senkrecht entgegengestellt

hervorgebracht wird, entspricht demnach dem Ausdrucke

wo *J* den Glanz, *F* den Flächeninhalt, *D* den Abstand d quelle und *α* den Neigungswinkel gegen die ausfallenden vorstellt.

551. Geschwindigkeit des Lichtes. — Das L jeder andere Bewegungseffect, gebraucht Zeit zu sein schreiten. Diese Zeit, obschon für jede irdische En ausserordentlich gering, ist doch durch Beobachtu Himmelsraum mit grosser Schärfe gemessen worden; stenmal vom dänischen Astronomen Römer im Jahre 16

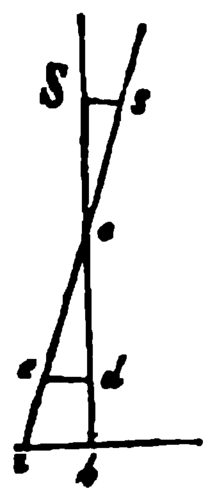
Der Planet Jupiter hat bekanntlich 4 Trabanten, von der eine in dem kurzen Zeitraume von wenig mehr als den eine Umdrehung vollendet. Dabei muss er jedesm den Schatten seines Planeten gehen. Weil er nun währe Zeit des Durchgangs verfinstert ist, lässt sich der Zeitpun Eintritts in den Schatten, so wie der seines Austritts aus ben ganz genau wahrnehmen.

Die Erde, während gewisser Perioden ihrer Umdre die Sonne, erhält ihren Abstand vom Jupiter im Lauf Stunden fast unverändert, zu andern Zeiten dagegen en sich oder nähert sich diesem Himmelskörper fast in gera Nun hatte Römer bemerkt, dass die Verfinsterungszei piters-Trabanten bei diesen drei verschiedenen Bew Richtungen der Erde scheinbar nicht gleich bliebe. sich die Erde von dem Jupiter, so dauerte die Fi

inbar länger, näherte sie sich ihm, so schien der Moment des ritts früher einzutreten, als wenn beide Planeten während Dauer einer Verfinsterung ihren Abstand nicht verändert hat. Diese Unterschiede sind zwar sehr gering, aber sie wieder- n sich von einer Umdrehung des Jupiters-Trabanten zur an- und sammeln sich so während des Uebergangs der aus der grössten Jupiters - Nähe zur grössten Jupiters- , d. h. während des Zeitraumes von ungefähr einem halben e zu einer vollen Viertelstunde, um welche die von dem letz- n Standpuncte der Erde beobachtete Eintrittszeit der Finster- gegen die für denselben Standpunct berechnete Zeit zurück- t. Römer schloss hieraus, dass das vom Jupiter zurückge- fene Sonnenlicht so viel Zeit braucht, um eine Länge, gleich Durchmesser der Erdbahn, zu durchlaufen. Er berechnete hier- n die Geschwindigkeit des Lichtes zu 41918 geographischen en.

Dieses Resultat erhielt 50 Jahre später eine sehr wichtige Bestätigung n die von Bradley beobachtete Abirrung (Aberration) des Lichtes. versteht hierunter die Thatsache, dass die Fixsterne alljährlich kleine ken am Himmelsgewölbe zu beschreiben scheinen, deren grösste Axe llen gleich ist und eine Länge von 40,5 Sekunden einnimmt, deren ste Axe aber, je nach der Neigung der Sterne gegen die Ebne der hn, verschieden ist. Diese scheinbaren Bewegungen erklären sich da- , dass die Geschwindigkeit der Erde einen nicht ganz unbeträchtlichen theil von der des Lichtes ausmacht. — Die Linie *ab* (Fig. 256) be- e einen Bogen der Erdbahn, *Sc* einen Lichtstrahl. Dieser sollte seiner Richtung nach den Punct *b* der Erde treffen. Da er aber Zeit bedarf um den Weg *cb* zurückzulegen, so wird er, wenn die Erde in derselben Zeit den Weg *ab* beschreibt, dieselbe nicht im Puncte *b* sondern in *a* erreichen. Es sei *ac* die Axe eines cylindrischen Rohrs (eines Fernrohrs) und der Lichtstrahl *Sc* sei eben im Axenpunct *c* am Eingang des Rohrs angekommen. Nach Verlauf der Hälfte der Zeit, die er braucht, um den Weg *cb* zurückzulegen, wird er sich in *d* befinden. Dieselbe Stelle hat aber unterdessen auch den Punct *e*, vermöge der Bewegung der Erde, erreicht. Der Strahl befindet sich also noch immer in der Axe des Rohrs. Da nun eben so der Fusspunct *a* des Rohrs gleichzeitig mit dem Strahle in *b* ankommt, so sieht man jetzt leicht, dass letzterer, während er den Weg *cb* zurücklegt,

Fig. 256.



uernd in der Axe des Rohrs verweilt, mithin für den Beobachter, n Auge sich am Puncte *a* befindet, sich ganz so verhält, als verfolge n Weg *ac*, der mit der wahren Richtung des Lichtes den Winkel *acb*, Abirrungs-Winkel, bildet. Dieser scheinbare Weg des Lichtes zu dem scheinbaren Orte (*s*) des Sterns von welchem es herkommt. n die Richtung der Bewegung der Erde während ihres Umlaufs um die sich fortdauernd ändert, so muss auch der Punct *s* seine Stelle eln und alljährlich einen Umlauf um den wahren Ort *S* des Sterns be- stelligen. Der Abirrungswinkel ist am grössten, wenn ein Lichtstrahl er Erdbahn senkrecht steht; sein Bogen beträgt dann 20,45 Sekunden, ch die Hälfte von der grossen Axe der scheinbaren elliptischen Bahn. Bogen *Ss* (Fig. 256) verhält sich nun zu dem Halbmesser $Sc = 1$ immelskugel, wie die Geschwindigkeit *ab* der Erde, zur Geschwindig-

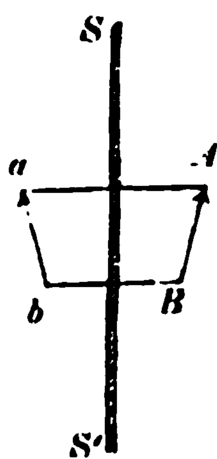
keit *bc* des Lichtes. Letztere wird also gefunden, indem man die (digkeit der Erde durch den Abirrungsbogen, in Theilen seines H ausgedrückt, dividirt. Auf diesem Wege wurde die Zahl von 41 erhalten, welche mit der aus den Finsternissen der Trabanten de abgeleiteten Zahl sehr nahe übereinstimmt. Hierdurch ist bewie nur dass das Licht für seine Fortpflanzung Zeit braucht, sondern das Licht der Sonne und der Fixsterne gleiche Geschwindigkeit b Den Weg von der Sonne zur Erde legt das Licht in 8′13″, vom l Erde in etwas mehr als einer Sekunde zurück. Vom nächsten Fix Erde braucht es 10 Jahre.

Mittelst einer sinnreichen Anordnung ist es vor Kurzem gelungen, die Geschwindigkeit des irdischen Lichtes zu messen. sie von der des Sternenlichtes nicht abweichend. Pogg. (A S. 167).

551. **Spiegelbilder.** — Die Bestimmung der I Spiegelbilder, d. h. die Bezeichnung derjenigen Puncte, chen die von verschiedenen Puncten eines Gegenstande benden Strahlen, nach der Zurückwerfung von einer spi Fläche herzukommen scheinen, ist durch die Kenntniss flexionsgesetze (No. 547) eigentlich zu einer Aufgabe metrie zurückgeführt.

Die Lösung derselben wird sehr einfach bei den ebı geln. Man zieht von jedem Puncte des Gegenstand Fig. 257) eine Senkrechte gegen die Spiegelebne od Verlängerung und misst von derselben hinter dem Spiegel so grosses Stück ab, als der betreffende Punct sich Spiegel befindet.

Das Spiegelbild ist dem Gegenstande symmetrisch gl fände sich in *ab* an der Stelle des Bildes ein wirkliche stand, so würden die von demselben aus du Oeffnung *SS′* fallenden Strahlen hinsichtlich d tungen, welche sie nehmen, sich genau so v wie die vom Gegenstande *AB* ausfahrenden nach der Reflexion von der Spiegelebne *SS′*. sieht leicht, dass das Bild an allen Bewegun Spiegels Theil nehmen muss, dass es in eine recht stehenden Spiegel die natürliche Lage genstandes wiedergibt, und dass es densel wagerechter Lage des Spiegels in verkehrter erscheinen lässt. —

Fig. 257


Spiegelbilder im Wasser. — Bewegt sich der Spiegel selbst parallel, so legt das Bild in gleichem Sinne den d Weg zurück. Dreht sich der Spiegel um eine Axe die i eignen Ebne genommen ist, so beschreibt jeder Punct d von demselben Drehpuncte aus, den doppelten Bogen.

Vervielfachung der Bilder durch **Parallel-Spiegel** und **spiegel** (Kaleidoscop). Die Vervielfachung wird dadurch bewi

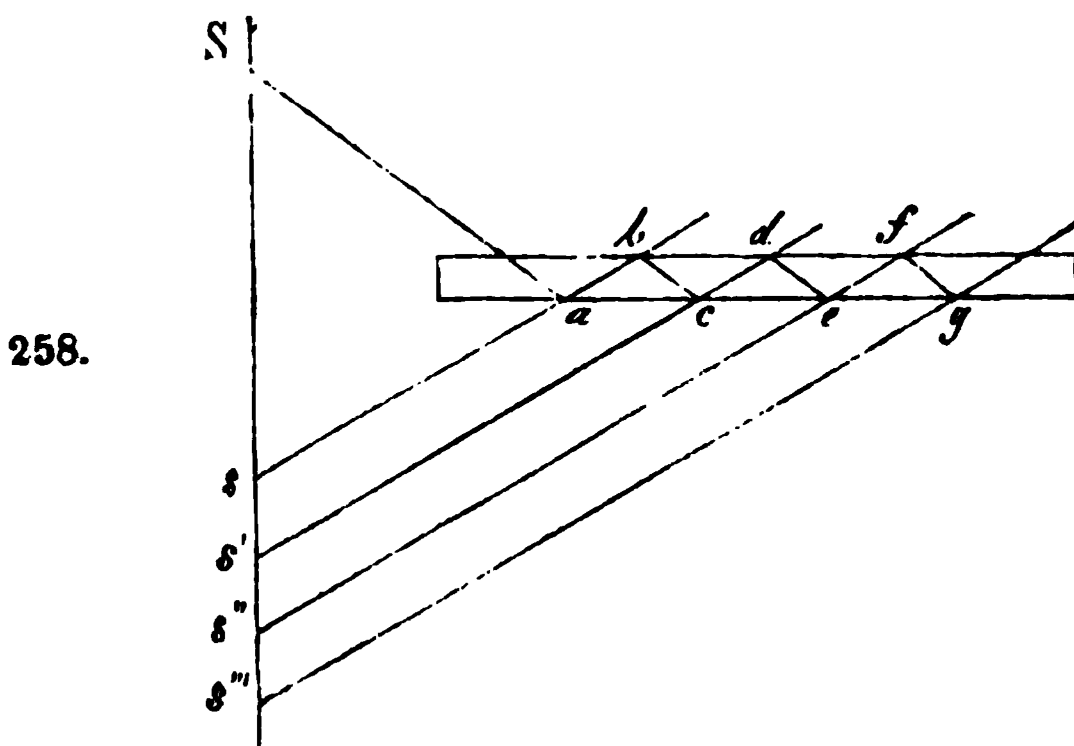


inem Spiegel reflectirten Strahlen von einem zweiten, auf welchen abermals reflectirt werden. Die Spiegelbilder verhalten sich zu)iegeln gleichsam wie wirkliche Gegenstände. Die wiederholten ımen jedoch bald sehr merklich an Lichtstärke ab.

länzendsten Bilder geben spiegelnde Metalle, insbesondere Silber ısilber, weil sie das Licht am vollständigsten zurückwerfen. Ge- : wählt man zu Metallspiegeln eine Legirung von zwei Theilen d ein Theil Zinn, welche eine grau weisse Farbe hat und eine Politur annimmt. Auch schwarzes undurchsichtiges Glas gibt eines, wiewohl wenig glänzendes Bild.

e gewöhnlichen Glasspiegel sind eigentlich Quecksilberspiegel. Da Metallbelegung sich an der hintern Glasfläche befindet und ein Lichtes schon von der Vorderfläche zurückgeworfen wird, so er- zwei Bilder, von welchen sich das eine, glänzendere, um die dop- e des Glases hinter dem andern befindet. Wegen dieses geringen beider Bilder decken sie sich, so lange der Ausfallswinkel des ır gering ist, und sind daher nur bei sehr geneigter Lage der re- Strahlen wahrnehmbar. Sehr glänzende Leuchten, wie die Sonne ; die Kerzenflamme bilden in Glasspiegeln bei schief einfallendem e ganze Reihe Bilder von allmählig abnehmender Intensität, von nmer das eine um die doppelte Glasdicke hinter dem andern liegt, ı ist, weil der bei *a* (Fig. 258) von der Quecksilberfläche zum

258.



reflectirte Strahl, bei seinem Austritte aus dem Glase bei *b* theil- ıe zweite Reflexion, dann bei *c* eine dritte, bei *d* eine vierte ːrleidet.

ːn dieser Vervielfachung des Bildes sind die gewöhnlichen Glas- ı manchen optischen Zwecken nicht brauchbar.

Spiegel bilden den wesentlichen Bestandtheil mehrerer wichtiger ıcher und geodätischer Instrumente. Dahin gehören der Heliostat, man gebraucht, um den Sonnenstrahlen mit Hülfe eines durch ein gedrehten Spiegels eine unveränderliche Richtung zu geben (Geh- terbuch n. B. V. 239. Pogg. Ann. XVII. 71; LXXII. 432); das Re- ıgoniometer (Gehl. W. n. B. V. 1027); der Heliotrop (Gehl. V. 246); der Spiegelsextant (Gehl. W. n. B. VIII. 781).

. Jedes Flächenelement eines gekrümmten Spiegels re- einen einfallenden Lichtstrahl ganz so, wie wenn die

Zurückwerfung von der das Element berührenden El
fände.

Die für ebne Spiegel geltenden Reflexionsgesetze las
daher auch auf krumme Flächen anwenden, sobald nur da
ihrer Krümmung bekannt ist, d. h. sobald man für jeden I
Neigung seiner Berührungsebne zu bestimmen die Mittel
ergibt sich aus der Eigenthümlichkeit der Kugelgestalt,
vom Mittelpuncte einer Kugel ausgehenden Lichtstrahlen
Reflexion von der Kugelfläche in den Mittelpunct zurückl
ebenso aus der Natur der parabolischen Krümmung, dass
der Axe eines Paraboloids gleichlaufende Strahlen in
puncte zusammentreffen, und dass umgekehrt die von
puncte auslaufenden Strahlen durch die Reflexion eine mit
parallele Richtung erhalten.

Eine grosse Mannigfaltigkeit des Verhaltens bieten d
rischen Hohlspiegel. Wenn ein Kreisbogen AB (
dem der Kreismittelpu
gehört, um den Radius a
Bogen AB halbirt, um 1
gedreht wird, so bildet
zeugte Fläche, wie
einen Abschnitt einer K
fläche. Ist die hohle Se
so gestalteten Fläche s

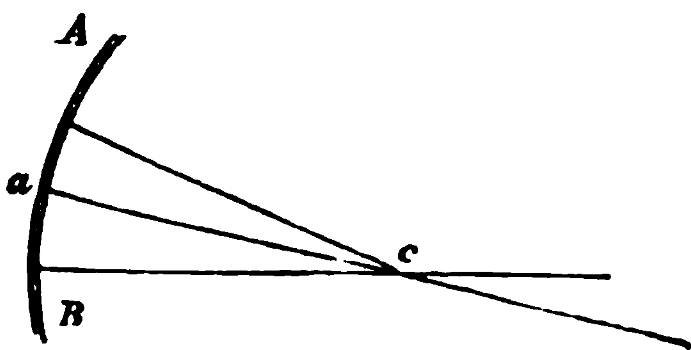


Fig. 259.

so hat man einen Hohlspiegel, ist es die erhabne (convex
so hat man einen Convex-Spiegel. Der Punct a ist d
punct seiner Fläche, der Punct c sein Krümmungsmittelp
Linie ac seine Hauptaxe. Jede andere durch c gelegte
Spiegel treffende Linie heisst Nebenaxe. Wir betrac
nächst den sphärischen Hohlspiegel, und zwar genügt es,
halten nur eines einzigen durch die Mitte a gehenden
eines Durchmessers der Spiegelfläche, zu untersuchen, d
für diesen gilt, lässt sich, wie aus der Construction her
mit gleichem Rechte auf den ganzen Spiegel anwenden.

Es sei AB (Fig. 260) dieser sehr klein gewählte

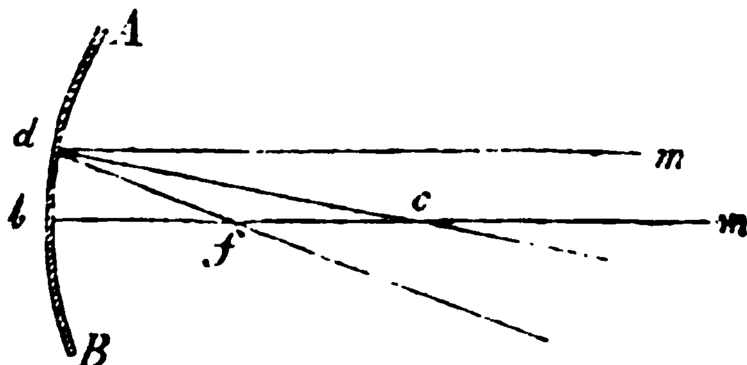


Fig. 260.

Vor demselben befinde sich ein leuchtender Punct m, in s
Ferne, dass die von demselben auf den Spiegel fallenden

allel angesehen werden dürfen. Einer dieser Strahlen *mcb*, rch den Krümmungsmittelpunct, also in der Richtung der s Punctes *m* geht, wird in derselben Linie zurückgeworfen. ennt ihn den Hauptstrahl. Jeder andere Strahl wird durch lexion so geleitet, dass er die Axe *mb* durchschneiden Es sei z. B. *d* der Einfallspunct eines Strahls *md*, derselbe ich *df* reflectirt, so dass Winkel $mdc = cdf$, und durchlet die Axe im Puncte *f*. Nun ist Winkel $fcd = mcd =$ olglich $df = fc$. Es ist ferner $df + fc$ grösser als *bc*, in allen Fällen *fd* grösser als *bf*. Es nähert sich aber *fd* dem von *bf* um so mehr, einen je kleineren Bruchtheil der Bo- von dem Radius *bc* ausmacht. Für ein sehr kleines Bok kann man daher $bf = df = fc$ setzen. Bildet der ganze l, so wie angenommen wurde, nur ein sehr kleines Seger dem Radius *bc* entsprechenden Kugeloberfläche, so erh, dass alle der Axe *mb* parallel laufende Strahlen, welche iegel reflectirt werden, im Puncte *f* der Axe zusammennüssen*). Der Punct *f* wird Brennpunct der Axe *mb* t. In ähnlicher Weise hat jede andere Axe einen Brenn- der in der Mitte des entsprechenden Radius liegt. Der ptaxe zugehörige Brennpunct, welcher die Eigenschaft hat, us einem entlegenen Puncte der Hauptaxe selbst ausflies- Strahlenbündel zu sammeln, wird Hauptbrennpunct t. Sein Abstand von der Mitte des Spiegels heisst dessen weite.

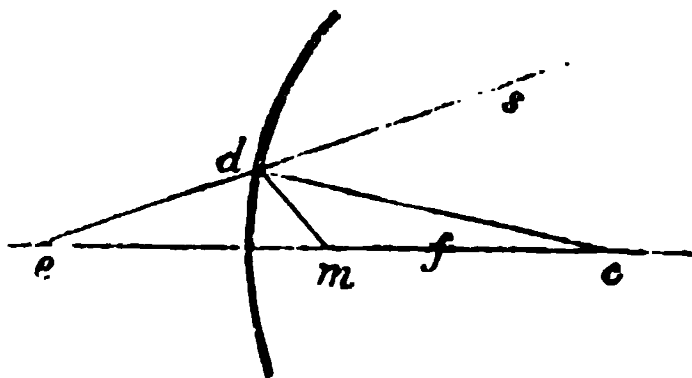
enn die Entfernung eines leuchtenden Punctes so gross t, dass seine Strahlen als parallel angesehen werden kön- vereinigen sie sich zwar nicht in dem Brennpuncte; aber destoweniger müssen sie ihre Axe schneiden und zwar bei her vorausgesetzten Beschaffenheit des Spiegels ziemlich in einem Puncte, der von *f* aus sich dem Krümmungsmittel- *c* um so mehr nähert, je mehr der leuchtende Punct *m* ge-

---

Die Gränzen innerhalb welcher diese Voraussetzung Geltung hat, sich schärfer aus folgender Betrachtung: Es ist $\frac{1}{2}\, dc = fc.\ cos$ her $fc = \frac{dc}{2} \times \frac{1}{cos\, dcf}$. Nur diejenigen Strahlen für welche inus des Einfallswinkels fast mit der Einheit verwechselt werden rden sich im Brennpuncte vereinigen. Bei zunehmender Grösse des vinkels eines Strahls, rückt sein Durchschnittspunct mit der Axe le Spiegelfläche, und schneidet folglich die Richtung eines andern in n Ebne, aber der Axe näher liegenden reflectirten Strahls, bevor en Brennpunct erreichen konnte. Diese Durchschnittspuncte benach- trahlen bilden vor dem Spiegel eine eigenthümlich gekrümmte Fläche, nnfläche (kaustische Fläche) in welcher eine grössere Licht- errscht als in der Umgebung und von der der Brennpunct die glän- Stelle ausmacht. Jede durch den Brennpunct geführte Durchschnitts- Brennfläche heisst Brennlinie (kaustische Linie).

gen den Mittelpunct heranrückt. Alle von diesem Puncte ausgehende Strahlen fliessen nach der Reflexion zu ihrer (zurück. Befindet sich der leuchtende Punct an irgend einer zwischen f und c, so vereinigen sich die reflectirten Strahle seits des Mittelpuncts, und zwar um so weiter von diesem fernt, je näher der leuchtende Punct selbst dem Brennpuncte Die von letzterem ausfallenden Strahlen werden parallel mit Axe reflectirt. — Man sieht leicht, dass diese Fälle die umge ten der vorhergehenden sind; der leuchtende Punct und sei haben gleichsam nur ihre Stelle gewechselt. Befindet sich leuchtende Punct m (Fig. 261) zwischen Brennpunct und Sp fläche, so bleiben die vom Spiegel reflectirten Strahlen diverg jedoch weniger als vor der Reflexion. Es hat daher den schein als kämen sie von einem Puncte e hinter dem Sp

Fig. 261.



her, der in der verlängerten Axe und von der Spiegelfläch so weiter entfernt liegt, je mehr der leuchtende Punct gegen Brennpunct rückt.

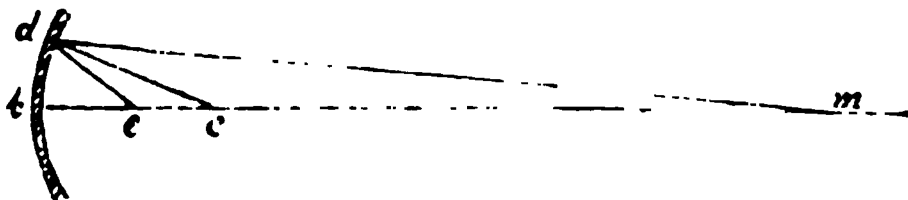
Alle diese Verhältnisse lassen sich in folgender allgemeiner Be tung zusammenfassen. Es ist Winkel

$$mdc = cde = i$$
$$md : mc = sin.c : sin.i$$
$$de : ce = sin.c : sin.i.$$

Daher auch

$$md : mc = de : ce;$$

Fig. 262.



Ist nun der Spiegel ein sehr kleines Segment der Kugelfläche, so kan $= mb$ und $ed = be$ gesetzt werden. Man erhält demnach, wenn de dius cb mit r, der Abstand mb des leuchtenden Punctes mit l, und de stand be des Vereinigungspunctes der Strahlen von der Spiegelfläche bezeichnet wird:

$$l : l - r = f : r - f; \quad (1)$$

und hieraus:

$$lr = (2l - r)\, f;$$

ıdem durch lrf dividirt wird:

$$\frac{1}{f} = \frac{2}{r} - \frac{1}{l}\,;\ \text{(II)}$$

dieser einfachen Gleichung sind alle Veränderungen ausgedrückt, ein Lichtkegel von sehr kleiner Winkelöffnung durch die Reflexion nem sphärischen Hohlspiegel, durch dessen Krümmungsmittelpunct ıuptstrahl (Axenstrahl) geht, erfahren kann. Ist z. B. die Entfernung Ausgangspunctes der Strahlen sehr weit entlegen, also $\frac{1}{l}$ fast Null; bt sich $f = \frac{r}{2}$. Für $l = r$ findet man auch $f = r$; für $l = \frac{r}{2}$ in unendlicher Ferne. Setzt man l kleiner als $\frac{r}{2}$ so wird für f gativer Werth erhalten, d. h. der Vereinigungspunct der Strahlen s 261) liegt hinter dem Spiegel, ist also nicht reel sondern nur virtuel ıden. Im Allgemeinen findet man, wenn $l = nr$ gesetzt wird:

$$f = \frac{nr}{2n - 1}.$$

Wenn man von den verschiedenen Puncten eines Gegenstandes e Linien durch den Krümmungsmittelpunct des Spiegels gelie Spiegelfläche zieht, so stellt jede dieser Linien eine Axe An entsprechenden Puncten jeder Axe vereinigen sich die em in eben dieser Axe gelegenen leuchtenden Puncte ausıdeten Strahlen. Indem sie dann wieder auseinandergehen, ken sie in dem Auge des Beobachters ganz den Eindruck in der Luft schwebenden Bildes des Gegenstandes. Befindet letzterer jenseits des Krümmungsmittelpunctes, z. B. in der ng mn (Fig. 263) so erzeugt er ein Luftbild st zwischen punct und Brennpunct, das man auf einem weissen Schirm auf matt geschliffenem Glase auffangen kann. Es erscheint ıhrt und, weil es in der Winkelöffnung sct liegen muss, verırt.

Wird ein Gegenstand zwischen Mittelpunct und Brennpunct

Fig. 263.

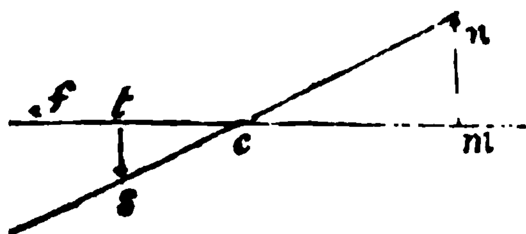
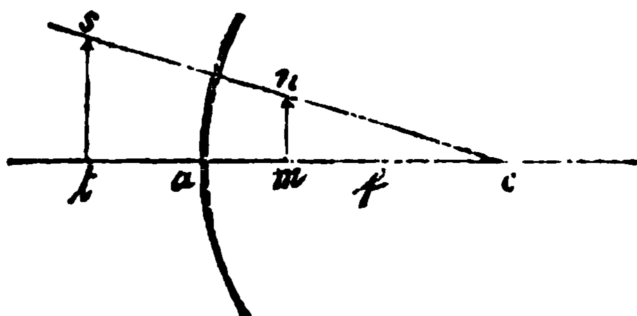


Fig. 264.



ıstellt, so zeigt sich sein Bild jenseits des Mittelpunctes, ver- und vergrössert.

Gegenstände, welche wie mn (Fig. 264) zwischen Brenn-

punct und Spiegel gebracht werden, geben ebenfalls vergrö
Bilder, die aber, wie bei ebnen Spiegeln, hinter dem Spieg
liegen scheinen und aufrecht stehen.

Um das Grössenverhältniss des Bildes zum Gegenstande zu besti
hat man nur zu bemerken, dass ihre linearen Dimensionen sich ve
wie ct zu cm (Fig. 263 u. 264). Nun ist $ct = r - f$; $cm = l -$
nach Gleichung (I); $r - f : l - r = f : l$. Die lineare Dimension des
verhält sich also zu der des Gegenstandes, ungefähr wie die Entf
des Bildes vom Spiegel zur Entfernung des Gegenstandes vom Spieg

Um das Reflexionsgesetz für convexe sphärische Spiegel zu find
man nur in Gleichung (II) r negativ zu setzen.

Man erhält dann:

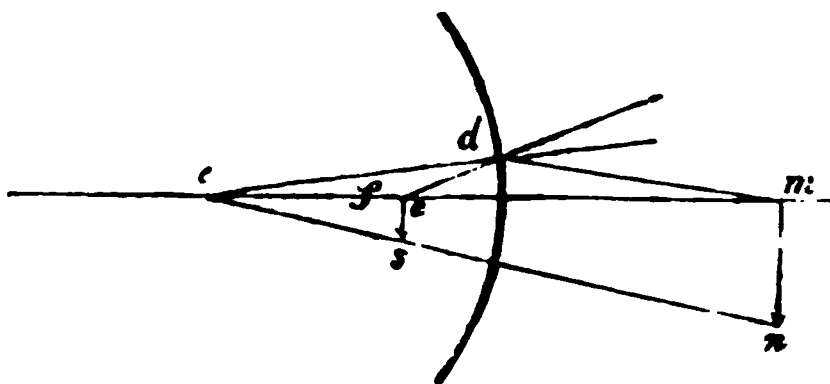
$$\frac{1}{f} = -\left(\frac{2}{r} + \frac{1}{l}\right)$$

oder

$$f = -\frac{lr}{2l + r}.$$

Man erkennt leicht, dass die von einem beliebigen Puncte m (Fi
ausgehenden Strahlen so reflectirt werden, als kämen sie von einem
e hinter dem Spiegel her, der in derselben Axe zwischen Brennpu

Fig. 265.



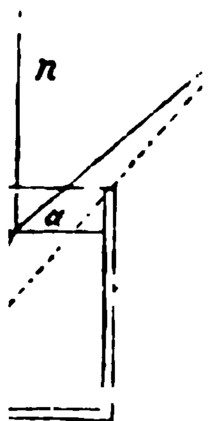
Spiegelfläche liegt. Das Bild eines Gegenstandes mn vor dem Spieg
scheint also in allen Fällen hinter dem Spiegel, es ist verkleinert und
recht stehend.

Auf der Anwendung des Grundgesetzes der Reflexion auf cylind
und conische Spiegel, beruhen die katoptrischen Zerrbilder oder An
phosen.

553. **Lichtbrechung** in nicht krystallisirten Kör
(Dioptrik). Viele Körper besitzen die Eigenschaft, einen The
eindringenden Lichtes durchzulassen; sie sind durchsichtig.
Uebergange aus einem Mittel in das andere wird das Lich
wöhnlich von der früheren Richtung abgelenkt. Nur in e
einzigen Falle behält es dieselbe bei; dann nämlich, '
der einfallende Strahl auf der Gränzfläche beider Mittel senk
steht.

Durch eine Wasserschicht oder durch eine dicke Glas
betrachtet, zeigt sich ein Gegenstand g (Fig. 266) nur da
seiner wirklichen Stelle, wenn sich das Auge in der die G
fläche gegen Luft senkrecht durchschneidenden Linie go bef

ndern Lage des Auges erscheinen die Gegenstände ver-
und zwar um so mehr, je grösser der Winkel ist,
der auf der Gränzfläche ankommende Strahl mit dem
g. 266.



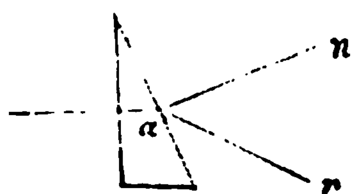
Lothe bildet. Ein Geldstück *g* auf dem Boden einer Schaale liegend, welches von dem in *o'* befindlichen Auge, so lange das Gefäss kein Wasser enthält, nicht erblickt wird, wird sogleich sichtbar, wenn man Wasser eingiesst. Es erscheint aber jetzt nicht mehr in *g*, wo es sich wirklich befindet, sondern nach *g'* verrückt, nämlich in der verlängerten Linie des ausfallenden und von seiner anfänglichen Richtung abgelenkten Lichtstrahls *a o'*.

ganz gleiche Weise verhält sich eine kleine Papier-
die man auf der untern Fläche einer dicken Glasplatte
hat.

on *a* nach *o* abgelenkte Strahl heisst der **gebrochene**
und die Ebne, welche er mit dem Einfallslothe bildet,
hungsebne, der Winkel, welchen der gebrochne
dem Lothe *a n* einschliesst, ist der **Brechungs-**

**Richtung des gebrochnen Strahls ist von der
er sich, bezogen auf den einfallenden Strahl,
egengesetzter Seite des Einfallslothes befin-
ass seine Brechungsebne mit der Einfalls-
ammenfällt.**

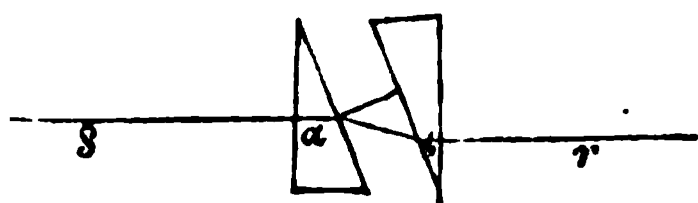
asse durch eine enge Oeffnung einen Bündel paralleler
ntal gerichteter Lichtstrahlen in ein verdunkeltes Zim-
und stelle denselben ein dreiseitiges Glasprisma so
dass sie auf der Vorderfläche desselben senkrecht auf-
ler ungebrochen eindringen und erst an der Hinter-
n Austritte in die Luft eine Ablenkung erfahren (siehe
Aus den beleuchteten Staubtheilchen in der Luft, er-
Fig. 267.



kennt man leicht den Weg, welchen das Licht nimmt und überzeugt sich sogleich, dass der gebrochene Strahl *a r* in der Einfallsebne bleibt, deren Richtung hier durch die Basis des Prisma's gegeben ist. Dreht man die-
en einfallenden Strahl *s a* als Axe, so dreht sich
gebrochne Strahl, und beschreibt die Oberfläche eines
essen Scheitelpunct durch den Einfallspunct *a* gege-

Wenn man dem bei *a* (Fig. 268) ausfallenden Lichtst zweites Prisma von gleichem Winkel, aber in umgekehr lung darbietet, so dass beide sich zu einem vierseitigen rallelen Flächen beg Prisma ergänzen, s der Strahl, nachdem neue Brechung erlit die frühere Richtung d. h. der aus dem Prisma ausfallende S läuft mit dem in das erste Prisma einfallenden parallel. geht hervor, dass die Brechung beim Austritt au in Luft, gerade die umgekehrte ist, von der be tritte von Luft in Glas. Der Einfallswinkel an de fläche von Glas in Luft sei *a*, der Brechungswinkel *b*, so auf der Gränzfläche von Luft in Glas mit dem Winkel lende Licht, einen Brechungswinkel *a* erhalten.

Fig. 268.



Dieselbe Erscheinung bietet sich unter gleichen Un zwischen beliebigen andern durchsichtigen Körpern. D allgemeine Regel: durch ein von parallelen Fläch gränztes durchsichtiges Mittel geht das Licht brochen. So z. B. durch die Fensterscheiben, durch Ul durch hohle, leere Glascylinder.

Wenn ein Lichtstrahl aus einem dünneren in ein c Mittel, wie aus Luft in Glas oder Wasser übergeht, so näl der gebrochne Strahl dem Einfallslothe; er wird dem Loth brochen. Bei der umgekehrten Bewegung, beim Ueberg Glas in Luft, entfernt er sich vom Lothe. Diese Regel ist u unbedingt richtig, wenn das dichtere Mittel mit dem d gleiche chemische Beschaffenheit hat, wie Luft von un Dichtigkeit; sie erleidet aber häufige Ausnahmen, wenn um chemisch verschiedenartige Körper handelt. Man pfl jenige Mittel, in welchem der eindringende Strahl dem L gebrochen wird, das stärker brechende zu nennen. gemeinen sind also die dichteren Körper die stärker brec Weingeist, Aether, Schwefelstoff, flüchtige Oele und hauptsächlich brennbare Körper bilden Ausnahmen vo Regel.

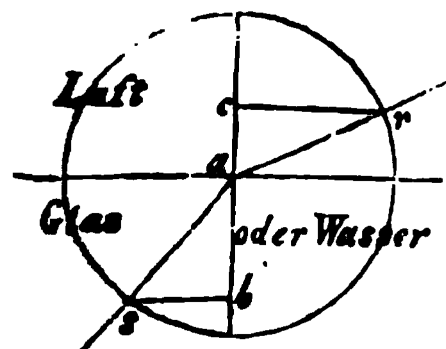
Bei zunehmender Grösse des Einfallsw wächst auch der Brechungswinkel. Beide immer in einer solchen Beziehung zu einander welche Neigung gegen die brechende Fläche d fallende Strahl *sa* haben mag, das Verhältniss d

n *sb* und *cr* (Fig. 269) einen unveränderlichen Werth auptet. Es ist aber $sb = sa\ sin.\ sab = r\ sin. a$ und $rc = ra$. $rab = r\ sin. b$.

Daher

$$\frac{sb}{rc} = \frac{r\ sin.\ a}{r\ sin.\ b} = \frac{sin.\ a}{sin.\ b} = n$$

Fig. 269.

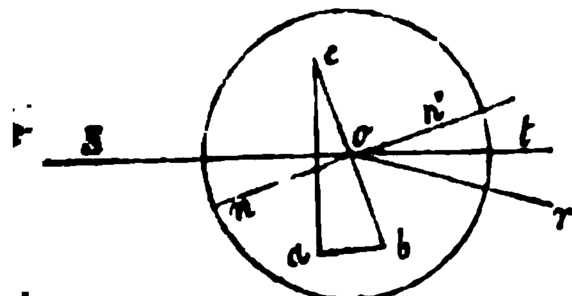


Der Sinus des Einfallswinkels dividirt durch den Sinus des Brechungswinkels ist eine unveränderliche Zahl, so lange das brechende Mittel keine Aenderung erfährt.

Dieses merkwürdige Gesetz ist von dem Niederländer Snellius entdeckt, aber erst viel später von Descartes bekannt gemacht worden.

Beispiel: Ein kleiner Tisch, auf welchem ein getheilter Kreis aufgegen ist, werde im verdunkelten Zimmer, in der Nähe eines Ladens so gestellt, dass die durch einen schmalen Spalt eindringenden, mittelst des lostats wagerecht geleiteten Sonnenstrahlen, durch den Mittelpunct *o* g. 270) des wagerecht gestellten Theilkreises gehen. Man setze dann auf das Tischchen ein dreiseitiges Prisma *abc*, aus Glas oder einem andern durchsichtigen Mittel gebildet, so dass das Licht auf der einen Seite senkrecht einfällt und dass die brechende Fläche *cb* durch den Mittelpunct des Kreises geht. Bei dieser Anordnung ist, wie man leicht sieht, der Einfallswinkel *son* gleich dem Prisma - Winkel *c*, und der Brechungswinkel *ron'* um den Winkel *rot* grösals *c*. Den Ablenkungsbogen *rot* findet man aber unmittelbar durch lesung des Gradepunctes, an welchem der abgelenkte Strahl den getheil Kreis schneidet.

Fig. 270.



Das Prisma sei gewöhnliches Spiegelglas, $c = 20°$, so gibt der Versuch, $= 11° 37'$; daher der Brechungswinkel $b = 20° + 11° 37' = 31° 37'$. n so findet man für $c = 30°$; $tor = 20°$; folglich $b = 50°$.

Nun ist:

$$\frac{sin.\ 31°\ 37'}{sin.\ 20°} = \frac{0{,}52430}{0{,}34202} = 1{,}533$$

l

$$\frac{sin.\ 50°}{sin.\ 30°} = \frac{0{,}76650}{0{,}50000} = 1{,}533.$$

Der Sinus des Brechungswinkels dividirt durch den Sinus des Einlswinkels liefert in beiden Fällen dieselbe Zahl. Eben dieses Resultat rde ein Glasprisma von anderer Neigung der Seitenflächen gegeben en.

Die Zahl 1,533 oder genähert $^3/_2$, welche für Glas das Vertniss der beiden Sinusse, d. i. das Brechungsverhält-

niss ausdrückt, nennt man den **Brechungs-Expone**[nten] des Glases. Jedes Mittel hat, bezogen auf Luft, seinen eigenthümlichen Brechungs - Exponenten. So ist der des [Was]sers $^4/_3$.

Kennt man den Brechungsexponenten eines Mittels, s[o ist] man im Stande die Richtung des gebrochenen Strahls [durch] Rechnung im Voraus zu bestimmen. Beim Uebergang aus L[uft in] Glas wird der Brechungswinkel (b) kleiner als der Einfallsw[inkel] (a), und man ersieht nun aus der Gleichung $\frac{sin.\ a}{sin.\ b} = 1$, dass einem jeden Einfallswinkel bis zur Gränze $a = 90^0$ [ein] Brechungswinkel entspricht.

Das Licht erleidet bei jedem Uebergange aus einem Mit[tel in] ein anderes eine theilweise Reflexion, die bei senkrechtem [Ein]falle am kleinsten ist und mit der Grösse des Einfallswinkel[s zu]nimmt. Aber so lange dieser Winkel auch nur im geringsten [unter] 90^0 bleibt, tritt stets ein beträchtlicher Theil des Lichtes aus [der Luft] in ein dichteres Mittel, z. B. in Glas, ein.

Wenn das Licht die Gränzfläche eines dichteren Mittel[s gegen] Luft durchschreitet, entfernt sich der gebrochene Strahl vom L[othe]. Jetzt ist also für Glas $\frac{sin\ a}{sin\ b} = \frac{1}{1{,}533}$. Beträgt der Einfall[swin]kel $40^0\ 43'$, so findet man $b = 90^0$; d. h. der gebrochne S[trahl] läuft längs der Brechungsebne hin. Wird a grösser als $40^0\ 43'$ [so] kann demnach das Licht die Glasfläche gar nicht mehr d[urch]dringen. In der That lehrt die Erfahrung, dass alles Licht, [des]sen Einfallswinkel auf der Uebergangsfläche von Glas zu [Luft] mehr als $40^0\ 43$ beträgt, **vollständig** (**total**), übrigen[s nach] den gewöhnlichen Gesetzen reflectirt wird.

In einem rechtwinkligen, gleichschenkligen Prisma (Fig. 271) [ist] jeder der beiden Winkel a und b, 45^0. Setzt man ein solches Glas[prisma]

Fig. 271.

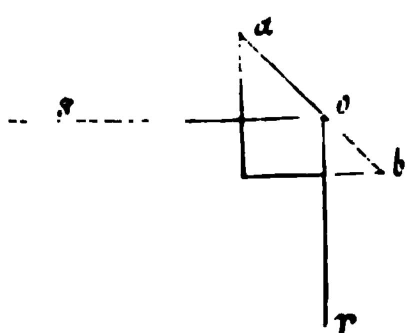
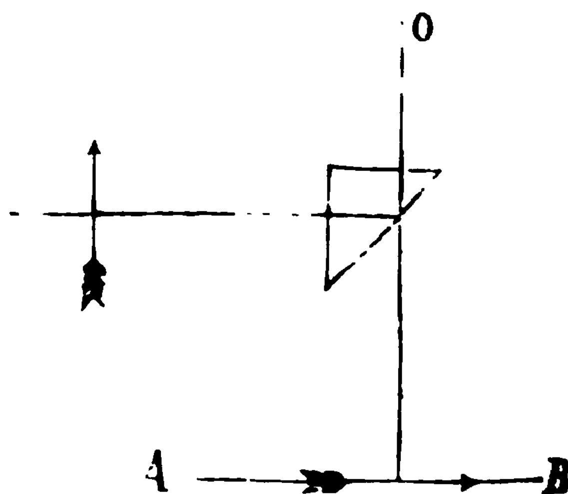


Fig. 272.



auf das Tischchen (Fig. 271), so dass die durch den Spalt im Lade[n] dringende Lichtlinie $s\,o$ die Hinterfläche $a\,b$ mit einem Winkel von 45^0

nter gleichem Winkel nach *or* abgelenkt, ohne dass nur eine
it bei *o* ausfallen kann. Die Fläche *ab* des Prisma's erhält
das Ansehen eines Metallspiegels von grösster Vollkommen-
nan einem kleinen Prisma der Art die in Fig. 272 angedeutete
hält das eine Auge darüber in dem Abstande der deutlichen
einer weissen Papier-Fläche *AB* unter dem Prisma, so er-
f dem Papiere die Bilder aller vorliegenden Gegenstände in
nrissen, dass sie sich mittelst eines in der Hand gehaltenen
s andere Auge betrachteten Stiftes nachzeichnen lassen. Ein
ecke besonders gefasstes und an geeignetem Träger befestig-
sst camera lucida.

strahlen, die an der Gränze von Wasser zu Luft ankommen,
e Reflexion ein, sobald der Einfallswinkel mehr als 48° 28', be-
piegel des Wassers in einem Glase erscheint daher, in schiefer
unten betrachtet, wie eine polirte Metallplatte, und einge-
stände spiegeln sich darin mit vollkommenster Schärfe ab. —
sser getauchtes, unten geschlossenes, übrigens leeres Glas-
wenn man es von oben anblickt, durch die totale Reflexion
n der Innenwand des Glases ganz das Ansehen, als wäre es
er gefüllt. Diese Wirkung einer sehr vollkommenen Spiegelung
aber, so wie man Wasser in das Rohr giesst. — Sehen unter
n Oberfläche sich in Ruhe befindet. — Luftspiegelungen (fata
wirkt durch totale Reflexion beim Uebergang des Lichtes aus
ünnere, z. B. stärker erwärmte Luftschichten. Häufig beruhen
ungen auch auf der Refraction der Lichtstrahlen in ungleich
ftschichten, und können in diesem Falle nicht eigentlich Spie-
nnt werden (Gehler, neue Bearb. VIII. 1155).

Brechung, welche die Lichtstrahlen beim Eindringen in den
serer Erde erfahren, erscheinen alle Himmelskörper, mit ein-
e derjenigen, die sich gerade im Zenith befinden, aus ihrer
, um so mehr, je näher sie dem Horizonte stehen. In Folge
ten Brechungen beim Uebergange aus dünneren in dichtere
müssen die aus dem Himmelsraume kommenden Strahlen in
re krumme Linien beschreiben, welche ihre Höhlung der Erd-
kehren; und da wir einen Stern stets in der Richtung sehen,
r von ihm ausgehende Strahl das Auge trifft, so kommt es,
einbare Lage immer etwas höher ist, als seine wirkliche. Da
g bei zunehmender Grösse des Einfallswinkels nothwendig
en muss, so äussert sie auf die dem Horizont nahen Himmels-
rksten Einfluss. Sie ist die Ursache, dass wir die Sonne schon
vor ihrem eigentlichen astronomischen Aufgange erblicken,
ns noch eine kurze Zeit sichtbar bleibt, nachdem sie bereits
izont gesunken ist. — Dieser Einfluss der atmosphärischen
ng macht sich schon bei dem von hohen Bergen ausgehenden
, und darf bei geometrischen Höhenmessungen nicht unbe-
eiben.

ptische Prismen. — In der Sprache der Optik wird
ichtige Mittel, welches von zwei ebnen, beliebig ge-
r geneigten Flächen begränzt ist, ein Prisma genannt.
welchen die beiden Flächen einschliessen, heisst der
Vinkel, und jeder durch die Winkelkante senkrecht
lso der Basis des Prisma's gleichlaufender Durch-
Hauptschnitt.

Es sei aCb (Fig. 273) ein Hauptschnitt eines Prisma's ein in der Ebne desselben schief einfallender Lichtstrahl; er beim Durchgang durch das Prisma an beiden brechenden Fl in gleichem Sinne und zwar von der Winkelspitze C abge Es sei z. B. $SabR$ der Weg, den er verfolgen muss. Man Winkel $San = a$; $bae = b$; $abe = b'$ und $Rbn' = a'$. Di lenkung bei der ersten Brechung ist $dab = a - b$; be

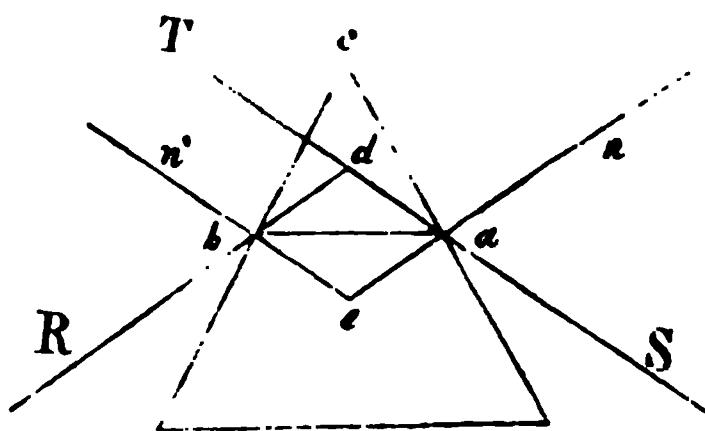


Fig. 273.

zweiten Brechung $dba = a' - b'$. Beide Ablenkungen z men geben den ganzen Ablenkungswinkel

$$TdR = D = a - b + a' - b' = (a + a') - (b + b$$

Es ist ferner der Prisma - Winkel $bCa = eab + eb$ auch; $C = b + b'$; (1) folglich $D = a + a' - C$; (2).

Man stelle ein optisches Prisma auf den oben erwä kleinen Tisch, so dass die Winkelkante fast über den Mittel des Theilkreises zu stehen k (Fig. 274). Man wird finden, das einfallende Lichtstrahl Sc bei Drehung des Prismas eine ander lenkung erfährt, dass aber für ein wisse Stellung des letzteren der A kungswinkel einen kleinsten Wert nimmt.

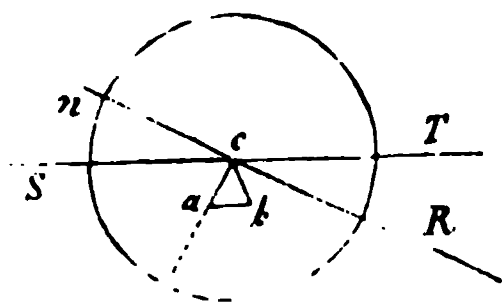


Fig. 274.

Angenommen, bei einem Prisma von Spiegelglas, d Winkel 34° beträgt, habe sich die kleinste Ablenkung be Einfallswinkel $Scn = 27^0$ gezeigt. Der Ablenkungswinkel wird dann 20° betragen. Diese Werthe in die vorher entwi Gleichung (2) gesetzt; wird erhalten $20 = 27 + a' - 34$ hieraus $a' = 27$. D. h. es ist $a = a'$ und folglich auch b Dieses Resultat gilt nun, wie aus einer Vergleichung des chungs-Gesetzes mit dem der Sinusse, ganz allgemein bew werden kann, in gleicher Weise für jeden andern brechenden kel und jeden andern durchsichtigen Stoff. D. h. so bald di weichung des gebrochnen Strahls ihren kleinsten Werth er hat, ist der Winkel, welchen der einfallende Lichtstrahl m

äche des Prismas bildet, demjenigen gleich, mit welchem interfläche wieder verlässt.

den Fall der kleinsten Ablenkung ist demnach $C = 2b$ $= 2a - C$, woraus dann weiter hervorgeht:

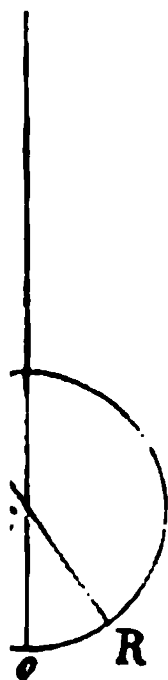
$$b = \frac{C}{2}; \quad a = \frac{D + C}{2}.$$

raus fliesst eine sehr einfache Regel, den Brechungs- iten eines beliebigen durchsichtigen Mittels zu be- l.

n bildet aus demselben ein Prisma, misst des- nkel, dann denjenigen der kleinsten Ablen- und setzt:

$$n = \frac{\sin. \frac{D + C}{2}}{\sin. \frac{C}{2}}$$

275. Um den kleinsten Ablenkungswinkel genau zu messen, kann man folgendes Verfahren einschlagen. Vor dem Objectivglase des Fernrohrs eines Theodoliths wird an dem Gehäuse des Fernrohrs selbst ein kleiner Träger befestigt, geeignet, das zu prüfende Prisma darauf aufstellen und mittelst einer Mikrometerschraube richten zu können. Man richtet nun das Fadenkreuz des Fernrohrs direkt gegen einen weit entfernten ungefähr in der Ebne des Theilkreises liegenden Lichtpunct S (Fig. 275), bringt dann das Prisma vor das Objectivglas und sucht durch Drehung sowohl des Fernrohrs, wie des Prismas auf seinem Träger, es dahin zu bringen, dass der gebrochne Strahl, bei seiner kleinsten Ablenkung, durch die Axe des Fernrohrs abermals zum Auge gelangt. Der Winkel $o c R$, um welchen das Rohr gedreht werden musste ist, wie leicht einzusehen, der Ablenkungswinkel des Strahls.



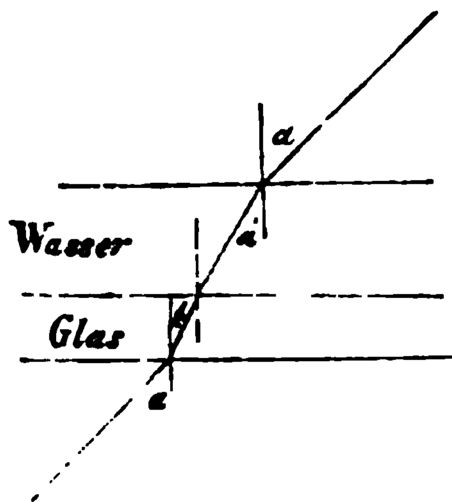
Auch der Winkel des Prisma's kann mit grosser Schärfe auf optischem Wege bestimmt werden, z. B. mittelst des Reflexionsganiometers oder auch mit Hülfe eines horizontalen Theilkreises, etwa dem des Theodoliths.

igkeiten, deren Eigenschaft das Licht zu brechen, untersucht werfüllt man in prismatische Behälter, deren Wände aus Glasplatten n parallel geschliffenen Oberflächen bestehen. Das Behälter besteht n ebenfalls aus einer Glasplatte, $\frac{1}{2}$ Zoll dick, 2 Zoll breit und so rt, dass eine Oeffnung von beiläufig 1 Zoll Weite gebildet wird. tte lässt man zu einem Prisma schleifen und schliesst die von der tenfläche zur andern gehende Oeffnung mit zwei Plangläsern. Der ium wird dann durch ein vom Rücken des Prisma's eingehendes der Flüssigkeit angefüllt. Die Gase, deren Brechbarkeit sehr gefüllt man in Hohlprismen mit sehr stumpfen Winkeln, um dadurch nkungswinkel so auffallend wie möglich zu machen, ein. Die innere

Höhlung muss ausserdem mit einem Barometer, und wenn die Brechb bei verschiedener Dichte untersucht werden soll, mit einem Verdicht apparate in Verbindung gesetzt werden können (Pogg. Ann. VI. 393; traité III. 222; auch Gehl. Wört. n. B. I. 1140). Macht man den in Raum ganz luftleer, so ergibt sich das Brechungsverhältniss für da dem leeren Raum in Luft übergehende Licht Dasselbe ist durch die 1,000294 ausgedrückt. Das Brechungsverhältniss verschiedenartiger ist ungleich. Bei jedem einzelnen vermehrt es sich mit der Dichtigkei zwar ganz unabhängig von der Temperatur, insofern diese die Dicht unverändert lässt.

555. Da bei dem vorher beschriebenen Messverfahren untersuchten brechenden Mittel stets von Luft umgeben sind beziehen sich die gefundenen Brechungsexponenten nur auf Uebergang aus Luft in diese Mittel. Den Brechungsexpon zwischen irgend zweien verschiedenartigen Mitteln, z. B Wasser in Glas findet man dann durch Division ihrer Expon zu Luft. Der Beweis beruht auf der sache, dass beim Durchgange des Li durch zwei ungleichartige, von para Wänden begränzten Platten, der a hende Strahl mit dem eingehenden gleichgerichtet ist.

Fig 276.



Es sei z. B. mit Beziehung auf

$$276)\quad \frac{sin.\,a}{sin.\,b} = n$$ der Brechungsexp aus Luft in Glas, also b der Einfallsw auf der Gränze von Glas in Wasser u der Ausfallswinkel aus Wasser in Luft; bezeichnet man f mit a' den Winkel, den der Strahl mit beiden Gränzflächen Wassers bildet, so ist der Brechungsexponent aus Luft in Wa $n' = \frac{sin.\,a}{sin.\,a'}$, daher der entsprechende Werth, beim Ueberg aus Wasser in Glas:

$$N = \frac{sin.\,a'}{sin.\,b} = \frac{\frac{sin.\,a}{sin.\,b}}{\frac{sin.\,a}{sin.\,a'}} = \frac{n}{n'}.$$

Es ist z. B. für Spiegelglas $n = 1{,}533$; für Wasser 1,336; daher aus Wasser in Glas $N = \frac{1{,}533}{1{,}336} = 1{,}147$.

Wegen der Veränderlichkeit der Luftbeschaffenheit ist es oft rchenswerth, das Brechungsverhältniss eines Mittels auf den leeren zu beziehen (N). Es wird bestimmt, indem man den Exponente selben Mittels bezogen zu Luft (n), mit dem Exponenten aus dem Raume in Luft (N') multiplicirt. Denn nach der vorhergehenden Re

$\frac{N}{N'}$, also $N = N'.n$. Z. B. der Brechungsexponent des leeren Raumes
'asser ist:

$$1{,}336 \times 1{,}000294 = 1{,}3364.$$

556. Farbenzerstreuung (Dispersion). Man lasse
:h einen sehr engen Spalt im Laden direktes Sonnenlicht in ein
lunkeltes Zimmer fallen und fange dasselbe in einiger Entfer-
g vom Laden auf einem Papierschirm auf. Es wird sich auf
letzteren ein weisser, glänzender Lichtstreif abbilden. Stellt
n hierauf zwischen Spalt und Schirm, in den Weg der einfal-
len Sonnenstrahlen, ein Prisma, seine brechende Kante gleich-
end mit dem Spalte, so entsteht jenes farblose Bild nicht mehr,
dern die nunmehr gebrochnen Strahlen ordnen sich zu einer
sen Anzahl nebeneinander liegender gefärbter Streifen,
che auf dem Schirm die Figur eines Parallelogramms mit ab-
undeten Enden darstellen, dessen Breite der Höhe des früheren
losen Lichtstreifs gleichkommt, während es in der Richtung, win-
echt gegen die brechende Kante des Prisma's sehr in die
ge gezogen erscheint, um so mehr, je grösser die Ablen-
g ist, welche das gebrochene Licht erfuhr. Man nennt diese
aus glänzende Lichterscheinung das Farbenbild (Spec-
m).

Die einzelnen Farben des Spectrums verlaufen in einander
ch sehr allmählige Abstufungen. Zunächst derjenigen Stelle,
che das farblose Bild des ungebrochnen Lichtes einnahm,
t sich ein sehr reines, glänzendes Roth, welches allmählig
Orange und dieses wieder in Gelb übergeht; auf dieses folgt
ün, dann Hellblau, Dunkelblau und endlich Violet, das
entferntesten Rand des Farbenbildes einnimmt und eine
sehr geringe Lichtstärke besitzt. Die grösste Helligkeit
rscht im Gelb; sie vermindert sich von hier aus nach beiden
ten.

557. Aus der Erscheinung des Farbenbildes hat zuerst New-
n die Folgerung gezogen, dass das farblose Licht der Sonne
farbigen Strahlen zusammengesetzt sei, welche parallel neben
ander her laufen und nur durch ihr Zusammenwirken den Ein-
ck von Weiss hervorbringen. Diese in ihrer Farbe verschie-
len Strahlen besitzen aber eine ungleiche Brechbarkeit. Lässt
n daher einen farblosen Strahl durch ein Prisma gehen, so
rden seine Bestandtheile getrennt und nach verschiedenen
htungen zerstreut. Das rothe Licht ist das am wenigsten
chbare und erfährt darum auch die geringste Ablenkung. Die
letten Strahlen besitzen unter allen die stärkste Brechbarkeit;
entfernen sich desshalb am weitesten von der Richtung des

farblosen Strahls. Diese Theorie wird durch das Verhalten d farbigen Strahlen aufs vollkommenste bestätigt.

Lässt man das Spectrum, erzeugt durch ein senkrecht st hendes Prisma, anstatt auf den Schirm, auf die Fläche eines w gerecht gestellten Prisma's fallen, so zeigt sich, wenn die Oe nung im Laden sehr enge war, keine neue Lichtzerstreuung; d vorher rothe Streifen bleibt roth, der grüne bleibt grün u. s. f. zwar behalten alle dieselbe Länge und Breite wie früher. Nur hält das Bild eine verschobene Lage, die vorher horizont Gränzlinien stellen sich schief und zwar vom Roth nach dem V let hin allmählig ansteigend. Es kann demnach nicht bezw werden, dass die Brechbarkeit der Strahlen in demselben Si zunimmt.

Befindet sich in dem Schirm, der das Spectrum aufnimmt, e kleine Oeffnung, z. B. an der Stelle, wo das grüne Licht ersch und werden die durch diese Oeffnung gehenden Strahlen v einem zweiten Schirm aufgefangen, so zeigt sich auf dems ein Sonnenbild, aber von grüner Farbe.

Denselben Eindruck machen die durch die kleine Oeff dringenden Strahlen, wenn sie direkt zum Auge gelangen. L man sie auf ein zweites Prisma fallen, so werden sie zwar wi gebrochen, aber jetzt ohne die Farbe zu ändern. Das so weit legte Licht wird daher einfaches Licht genannt.

Wenn man das durch ein Prisma zerlegte Sonnenlicht in ringem Abstande (Fig. 277) auf ein zweites Prisma fallen l welches denselben brechenden Winkel besitzt, aber im umgek

Fig. 277.


ten Sinne, d. h. so aufgestellt ist, dass die inneren und äuss brechenden Flächen beider Prismen parallel laufen, so werden nach der ersten Brechung auseinander gehenden und da farbig gewordenen Strahlen durch die zweite Brechung wie parallel gemacht, und geben auf einem Schirm aufgefangen vollkommen farbloses Bild.

Die Vereinigung der Elementarfarben zu Weiss lässt auch dadurch zeigen, dass man das Spectrum auf einem Ho spiegel auffängt. Man erhält dann ein fast farbloses Luftbild Lichtspaltes.

Auch durch den folgenden Versuch kann man beweisen, da die Farben des Spectrums in ihrem Gesammt-Eindrucke sich Weiss ergänzen. Es ist bekannt, dass Lichteindrücke auf d

zhaut, selbst dann, wenn die erzeugende Ursache nicht mehr handen ist, noch eine kurze Zeit fühlbar bleiben und dass aus iem Grunde Einwirkungen, die mit einer gewissen Schnellig- der Folge immer dieselben Stellen der Netzhaut treffen, ganz Effect eines ununterbrochnen Lichteindrucks hervorbringen. i. B glaubt man, wenn eine glühende Kohle, an einem Eisen- t befestigt, rasch in der Luft herum geschwungen wird, einen htenden Kreis zu sehen.

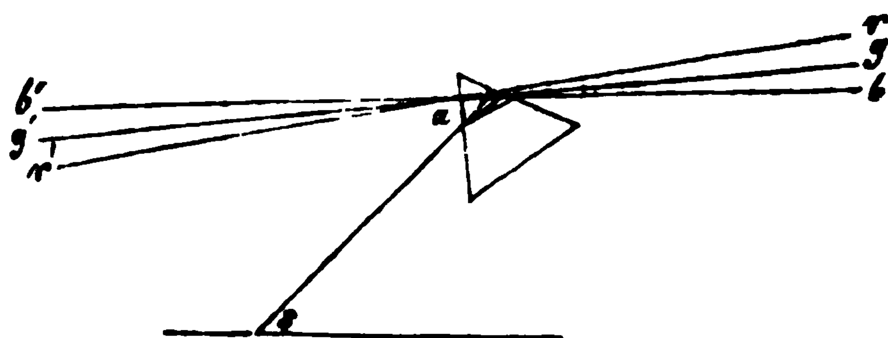
Eine kreisförmige mit schwarzem Papier überzogne Scheibe, welcher nur ein einziger Ausschnitt gefärbt, z. B. roth ange- ist, erscheint bei rascher Umdrehung über ihre ganze Ober- ie mit der Farbe bedeckt, welche nur ein einziger ihrer Aus- iitte besitzt. War ein Ausschnitt blau, ein anderer gelb ange- worden, so erhält man den gemeinschaftlichen Eindruck er Farben, nämlich grün. Theilt man nun in ähnlicher Weise die ibe in sieben Ausschnitte, trägt auf diese, so weit nur immer lich, die den sieben Hauptfarben des Spectrums entsprechen- Farbenabstufungen auf, und gibt man dabei jedem Aus- iitte ungefähr dasjenige Grössenverhältniss, welches der Aus- iung seiner Farbe im Farbenbilde entspricht, nämlich dem i 61°, dem Orange 34°, dem Gelb 54°, dem Grün 61°, dem blau 55°, dem Dunkelblau 34° und dem Violet 61°; dreht man i die Scheibe schnell um ihre durch den Mittelpunct gehende krechte Axe, so erscheint sie weiss oder nimmt doch eine i reinen Weiss um so näher kommende Farbe an, je ge- ir man die Farben des Spectrums nachzuahmen verstanden e.

Bedeckt man die eine oder andere Farbe mit einem schwar- Blatte, so können sich die übrigen nicht mehr zu Weiss er- zen, sondern man erhält eine, je nach der Natur der ausge- lossenen Farbe, verschiedene Farbenmischung. So zum piele bewirkt der Ausschluss von Gelb eine violette, der Aus- luss von Orange eine blaue, der Ausschluss von Roth eine ne Mischfarbe. Je zwei solcher Farbenmischungen, welche gemeinschaftlicher Einwirkung auf das Auge sich zu weiss nzen, nennt man complementäre Farben. (Gehl. Wörtb. i. IV. 86). Es ist einleuchtend, dass jede in der Natur vorkom- ide Farbe ihre complementäre Farbe hat, oder anders gesagt, s die von ihr ausgehenden farbigen Lichtstrahlen in Verbin- g mit gewissen anders gefärbten Strahlen, welche ihr fehlen, ss hervorbringen würden.

557. Man lege einen schmalen Abschnitt weissen Papier auf i schwarzen Grund und betrachte denselben durch das Prisma, von dem Abschnitte auf das Prisma fallende weisse Licht,

durch Brechung in seine einfachen Bestandtheile zerlegt, wi weit es in das Auge eindringt, auf der Netzhaut *rgb* (Fig.

Fig. 278.



ein ähnliches Farbenbild erzeugen, wie die durch einen Sp Laden einfallenden und durch das Prisma gebrochenen So strahlen auf einem weissen Schirm. Weil wir aber gewohn alle Lichteindrücke nach Aussen zu verlegen, so erblicken w auf der Netzhaut wirklich abgebildeten blauen Lichtstreif *b*, cher den am stärksten abgelenkten Lichtstrahlen entspricht in l gelben Lichtstreifen *g* in *g'*, und eben so den rothen *r* in *r'*. farblose Papierstreif *s* erscheint daher in farbige Streifen z und gehoben; die niedrigste Stellung nimmt der rothe Strei der blaue oder eigentlich der violette zeigt sich am meisten seiner natürlichen Lage verrückt.

Wird ein schmaler Papierabschnitt der Länge nach Hälfte roth, zur andern Hälfte blau gefärbt, dann so auf den len Grund gebracht, dass die rothe Seite oberhalb der blau liegen kommt; so erscheint, unter dem Prisma betrachtet, Blau gleichwohl über dem Roth. Befindet sich aber ersteres lich oben, so zeigen sich beide Streifen durch einen schw Zwischenraum getrennt.

Die natürlichen Farben der Körper sind in der Regel einfachen Farben. Schmale Streifen derselben, auf dem du Grunde unter dem Prisma angesehen, erscheinen daher fast i in ein breiteres Farbenbild verwandelt; oder die zusamm setzte Farbe wird in ihre einfachen Bestandtheile zerlegt.

Wird ein breiter Papierstreifen unter dem Prisma betra so bemerkt man diese Verschiebung der einzelnen farbigen fen, aus welchen er gleichsam zusammengesetzt ist, nur a Rändern; in der Mitte decken sich aber noch alle Farben un ben daher den Eindruck der natürlichen Färbung des Pa Hieraus erklärt sich, warum die Gränzen ungleich gefärbte chen, wenn sie durch das Prisma gesehen werden, Farbens erhalten. Leicht wird man sich z. B. jetzt Rechenschaft da geben können, warum an weissem Papier, auf dunklerem Gr

ɜr Seite der brechenden Prismakante, ein violetter und
Saum, an der andern Seite hingegen ein rother und gelber
ervortritt.

ie weisse Fläche erscheint unter rother Beleuchtung roth,
elber gelb, unter blauer blau; kurz, sie nimmt immer die
er Strahlen an, von welchen sie getroffen wird, sie reflec-
ıtstrahlen aller Art gleich gut.

ɜ Folgerung liegt nahe, dass die natürlichen Farben der
daher rühren, weil sie die verschiedenen Lichtsorten nicht
gut zurückwerfen; dass z. B. eine grüne Fläche vorzugs-
grünes Licht reflectirt, dagegen rothes durchlässt oder, was
wöhnlichere ist, dasselbe verschluckt. In der That findet
ıss wenn das Spectrum auf einen gefärbten Schirm gewor-
d, diejenige Farbe, welche der des Schirmes entspricht,
ıaftesten hervortritt. Auf einem indigoblauen Papier z. B.
lie blauen Strahlen ein sehr volles Blau. Die grüne Farbe
ich darauf schon viel weniger lebhaft und in den rothen
n erscheint es fast schwarz. Diese letzten werden also
ntheils verschluckt.

rchsichtige Körper, welche eine Farbe besitzen, verhalten
wöhnlich gegen gleichgefärbte Lichtstrahlen, wie farbloses
gen das weisse Licht. So gestattet rothes Glas vorzugs-
len rothen Strahlen den Durchgang, grünes den grünen.
: man daher ein rothes Glas mit dem ihm complementä-
nen Glas, so wird fasst gar kein Licht mehr durchge-

8. Frauenhofer'sche Linien. — Das Spectrum auf
ıer (No. 556) beschriebene Weise dargestellt, zeigt keine
einen, einfachen Farben, so schmal auch der Spalt sein
ırch welchen man die Sonnenstrahlen einfallen lässt. Denn
trahlen sind, vermöge der scheinbaren Grösse der Sonnen-
(½ Grad des Himmelsbogens), nicht ganz parallel; sie
hinter dem Spalt keine Lichtlinie, sondern eine mit dem
l an Breite zunehmende Lichtfläche; deren durch das
erzeugte Farbenbilder mithin theilweise in einanderfallen
h mischen müssen. — Hierzu kommt noch die meist un-
ımene Klarheit des brechenden Mittels, wodurch eine un-
issige Zerstreuung des Lichtes herbeigeführt wird. Flüs-
ismen zeigen diesen Uebelstand nicht. Unter den Gläsern
sich am besten das bleihaltige Glas (Flintglas); doch
ıan das Licht möglichst nahe an der brechenden Kante
ssen, während der übrige Theil der brechenden Fläche be-
ıt.

ın leite einen durch den Spalt wagerecht einfallenden
ndel im Abstande von wenigstens 10 — 15 Fuss gegen

die Kante eines Flintglas-Prismas und richte dieses auf da
mum der Ablenkung. Das so erzeugte Farbenbild betrach
dann durch ein unmittelbar hinter dem Prisma aufgestellte
Fernrohr. Man wird die Farbenstreifen, getrennt durc
grosse Anzahl, mit dem Spalt gleichlaufender dunkler, bal
terer, bald weniger breiten Linien erblicken. Diese dunk
nien im Spectrum sind im Jahre 1814 von Frauenhofe
deckt worden. Es zeigen sich deren eine um so grösse
je schmaler der Spalt, je stärker die brechende und zerstr
Kraft des Prismas, so wie die bewirkte Vergrösserung. Mi
waffnetem Auge sind nur wenige der stärksten wahrne
Ihr Auftreten scheint darauf hinzuweisen, dass zwischen d
schiedenen Farbenabstufungen der Lichtstrahlen, was ihre
barkeit betrifft, keineswegs ein stetiger Uebergang statt
Eine Vorstellung, die überdiess noch durch die Thatsache g
fertigt wird, dass sich ganz dieselben Linien zeigen, ma
nun das directe Sonnenlicht oder das indirecte des bew
Himmels oder auch das vom Monde oder den Planeten ref
benutzen; dass dagegen im gebrochnen Lichte der Stern
anderer Lichtquellen auch andere Linien auftreten. Die r
Lage der dunkeln Linien im Spectrum ist unabhängig vo
brechenden Winkel, und selbst der Stoff des Prismas, obsc
ihre gegenseitigen Abstände ändert, ist doch ohne Einflu
ihre Anzahl so wie auf die Art ihres Vorkommens in ve
denen Theilen des Spectrums.

Frauenhofer unterschied gegen 600 Linien*), we
chen er mehrere besonders auffallende, in der Richtung vo
gegen Violet mit den Buchstaben *A*, *B*, *C*, *D*, *E*, *F*, *G*, *H* bezei
(Fig. 5. Pl. V). Wegen ihrer völligen Unveränderlichkeit, u
der Leichtigkeit sie zu erkennen, dienen sie als ungemein
Ausgangs- und Vergleichungspuncte bei der Bestimmung d
chungsexponenten.

Durch genaue Messung ihrer Winkelabstände in ve
denen Mitteln, insbesondere in verschiedenen Sorten C
(Spiegel-) und Flint - Glas lieferte Frauenhofer überaus
tige Data zur Construction achromatischer Fernröhren; di
praktischen Optiker in den Stand gesetzt haben, achrom
Objective mit einer vordem unbekannten Sicherheit und Vo
menheit zu verfertigen (Siehe Tab. XVII).

Im Farbenbilde des Lampenlichtes, das vor der Brechung durc
engen Spalt gegangen war, lassen sich unmittelbar keine dunklen

---

*) Brewster, durch Anwendung sehr starker Vergrösserung
mehr als 2000.

nehmen; hatte man aber ein mit salpetrigsaurem Gas gefülltes Glas- in den Weg der Strahlen gestellt, so erblickt man alsbald hunderte dunklen Linien, welche bei vergrösserter Dicke oder auch durch Erwär- der Gasschicht an Stärke zunehmen, bis endlich gar kein Licht mehr gelassen wird (Brewster*). Aehnliche dunkle Linien von grosser und Regelmässigkeit kann man durch Joddämpfe hervorbringen.

Brewster nehmen auch die dunklen Linien des Sonnenspectrums, dem Einflusse des salpetrigsauren Gases an Breite zu. Da er ausser- bemerkt hatte, dass sie kurz vor dem Untergang der Sonne, wenn Strahlen die dickste Schicht der Atmosphäre durchdringen müssen, am lichsten werden, so schliesst er, dass sie ihre Entstehung einer Licht ab- genden Kraft der Atmosphäre zu verdanken haben.

Das Licht der meisten Lichtquellen wird durch das Prisma in ein mehr weniger vollkommenes Farbenbild zerlegt; doch kommen einige vor, die nur gleichartiges Licht ausstrahlen. So ist die Flamme des Kochsalz gesättigten Weingeistes homogen gelb. (Monochromatische ne**).

Brewster hat den Vorschlag gemacht, die Brechungsexponenten der sichtigen Mittel auf die dunklen Linien zu beziehen, welche das sal- saure Gas im Farbenbilde der Lampenflamme bewirkt. Anwendung man hiervon, so weit bekannt, bis jetzt nicht gemacht. Insgemein be- t man sich mit der Bestimmung der Brechungsexponenten für die Strah- von mittlerer Brechbarkeit, und diese sind auch bei den Angaben auf l XVIII, vorzugsweise gemeint. Bei den Gasen, deren Brechbarkeit an für sich so gering ist, wird die Farbenzerstreuung gewöhnlich gar wahrgenommen.

Das Brechungsverhältniss gasförmiger Körper wächst mit ihrer Dich- . Werden die bei verschiedenen Dichtigkeiten eines Gases bestimm- xponenten zum Quadrat erhoben und die Einheit davon abgezogen, so man, dass die so erhaltenen Ausdrücke den Dichtigkeiten proportional oder dass jeder derselben durch die entsprechende Dichtigkeit dividirt dieselbe beständige Grösse gibt.

Wenn n den Brechungsexponenten eines beliebigen Mittels und δ seine keit bedeutet, so nennt man $n^2 - 1$ seine absolute brechende ft, und den Ausdruck $\frac{n^2 - 1}{\delta}$ sein specifisches Brechungs- mögen. Aus dem Vorhergehenden leuchtet ein, dass das specifische ungsvermögen für jedes besondere Gas eine beständige und von seiner igkeit unabhängige Grösse ist. Ist es bekannt, so lässt sich daraus Brechungsexponent für jede Dichtigkeitsveränderung des Gases ab- .

So war es möglich die Brechungsexponenten der in Tafel XIX bezeich- n Gase auf die Temperatur von 0° und auf den mittleren Barometer- zu beziehen.

Die brechende Kraft gemengter Gase ist, wie Dulong bewiesen hat, dem Mittelwerth aus der Summe der brechenden Kräfte ihrer Be- theile (Pogg. Ann. VI. 405). Diese Regel gilt jedoch nicht für eine ge gasförmige Verbindung. Ueberhaupt ist es bis jetzt nicht gelungen, chen dem Brechungsvermögen chemischer Verbindungen und dem ihrer andtheile irgend allgemein geltende Beziehungen zu entdecken. — Be- nswerth ist das durchschnittlich grosse Brechungsvermögen brenn- r Stoffe, woraus bekanntlich schon Newton auf die Verbrennlichkeit Diamants geschlossen hat. — Die brechende Kraft des Wassers wird

*) Pogg. Ann. XXXVIII. 50.
**) Pogg. Ann. II. 101.

durch Aufnahme von Zucker und Alkohol sehr bedeutend verände
heil hat diese Thatsache zu einem Verfahren benutzt, um aus d
chen Brechbarkeit des Lichtes in wässrigen Mischungen von Wei
Zucker von verschiedener Concentration, z. B. in verschiedenen l
gleichzeitig bekannter Dichtigkeit der Mischung, ihren Gehalt
und Alkohol abzuleiten. Eine hierzu erforderliche, aus Beobacht
rechnete Tabelle findet sich in den Denkschriften der Münchner
aus dem Jahre 1843.

559. **Achromatismus.** — **Die Brechbarkeit ver gefärbter Strahlen ändert sich von einem Mittel zum an neswegs in proportionaler Weise. Die durch verschied chende Mittel, bei gleicher Ablenkung der mittleren Str wirkten Farbenbilder haben desshalb weder in ihren e Theilen noch im Ganzen einerlei Länge. Man lasse z. B. (ein Wasserprisma, durch ein Crownglas-Prisma und d Flintglas-Prisma bei gleicher mittlerer Ablenkung erzeu benbilder, auf dieselbe weisse Fläche unter einander fall wird sogleich sehr auffallende Unterschiede in den Dim dieser drei Spectra wahrnehmen.**

Eine sehr deutliche Anschauung dieses für die praktische O aus wichtigen Verhaltens gewinnt man durch aufmerksame Betra Tafel XVII. Einem Brechungsexponenten $n = 1$ entspricht die Null; man erkennt hieraus, dass die durch Brechung in einem Mittel bewirkte Ablenkung nicht wie der Brechungsexponent selbst wie die Grösse seines Unterschiedes gegen die Einheit, wie $n - 1$ Aendert sich der Exponent n um einen kleinen Werth, verwandel dadurch in n'; so kann man, ohne viel zu fehlen, annehmen, das dem Unterschiede $n' - n$ erwachsende Aenderung der Ablenkung selben Verhältnisse zu diesem Unterschiede stehe, wie die gan kung zu $n - 1$. Da die Unterschiede in der Brechbarkeit der L

len in allen Fällen sehr gering sind, so gewährt der Quotient ·

ein brauchbares Mittel, die Vermögen verschiedener Körper, farb len zu zerstreuen, unter einander zu vergleichen. Man bezeichn Linien B, E und H im Spectrum zugehörenden Brechungsexponent n', n''; so findet man z. B. für Flintglas von 3,723 spec. Gew $= 0{,}014$; $n'' - n = 0{,}043$; $n - 1 = 0{,}628$. Die ganze Länge benbildes zwischen B und H, bezogen auf die Einheit der Abl daher: $\frac{0{,}043}{0{,}628} = 0{,}06847$. Der Abstand von B bis H übertrifft d bis E um mehr als das dreifache.

Für **Crownglas** von 2,535 spec. Gewicht ist $n' - n = 0{,}007$ $= 0{,}019$; $n - 1 = 0{,}526$. Die Länge des Spectrums zwischen nien B und H beträgt also in diesem Falle nur $\frac{0{,}019}{0{,}526} = 0{,}03$ der Abstand von B bis H ist nur der $2\frac{1}{2}$fache von dem zw und E.

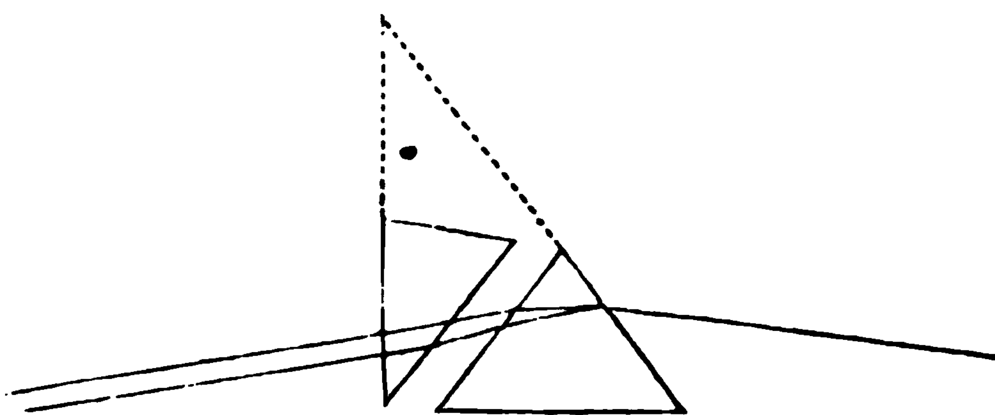
Die gleichfarbigen Strahlen befinden sich also in beiden dern nicht in proportionalen Abständen, und das Flintglas zers Licht, bei gleicher Ablenkung fast noch einmal so stark als das glas.

Aehnliche Verschiedenheiten bemerkt man bei andern Kör

es Zerstreuungsvermögen besitzen: der Diamant, die flüchtigen efel, Phosphor, Metallsalze.

olge der grossen Verschiedenheit in der zerstreuenden Crownglases und des Flintglases, müssen Prismen aus offen, die Farbenbilder von gleicher Ausdehnung erzeun, sehr ungleiche Winkelgrösse besitzen. Stellt man her Prismen in der Art neben einander, dass sie in entetzten Richtungen brechen (Fig. 279), so wird die im s-Prisma bewirkte Zerstreuung oder divergirende Aus-

Fig. 279.



ler farbigen Strahlen durch die gleich grosse aber entgezte Wirkung des Flintglas-Prisma's wieder aufgehoben. sten Prisma parallel einfallenden Strahlen verlassen das beufalls in parallelen Richtungen und geben folglich ein Bild. Dieses Bild erscheint aber noch immer verschoben, beiden äussersten brechenden Flächen der Prismen noch ie Winkel-Neigung gegen einander behalten. Ein System sen, welches die Eigenschaft besitzt, die Lichtstrahlen en ohne sie doch in Farben zu zerstreuen, nennt man omatisches Prisma. Die Farbenzerstreuung lässt ch auf dem beschriebenen Wege nicht ganz und gar aufeil, wie oben gezeigt wurde, die gleichgefärbten Strahrschiedenen Mitteln nicht in proportionaler Weise zerrden. Werden z. B. die den Linien *B* und *H* im Spectrum rten Strahlen parallel gemacht, so kann dies nicht zuler doch nicht mit gleicher Schärfe mit den um die Linie en Strahlen der Fall sein. Aus diesem Grunde bleiben och schwache Farbensäume (sekundäre Farbenbilder) lie jedoch wenig auffallen und bei der praktischen Andes Achromatismus von keinem sehr grossen Nachtheile

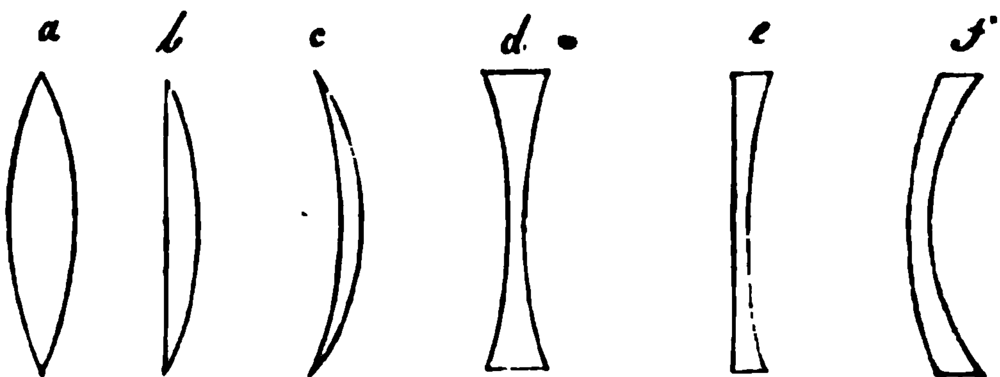
hat von dem Achromatismus die wichtigste Anwendung zur Ausführung von optischen Linsen, welche farbloses chlassen, und daher achromatische Linsen gerden. Newton war die Ungleichheit des Zerstreuungs-

vermögens verschiedener Mittel entgangen. Euler mach die Möglichkeit aufmerksam, durch geeignete Combinat achromatische Prismen und Linsen zu verfertigen. Das achromatische Fernrohr hat der Mechaniker Dollond in L ausgeführt.

560. Von den optischen Linsen. — Optische I nennt man durchsichtige Mittel, welche auf zwei gegenül genden Seiten von Umdrehungsflächen, gewöhnlich von I abschnitten (daher sphärische Linsen) begränzt sind.

Es gibt sechs verschiedene Arten solcher Linsen: a biconvexe (Fig. 280), mit zwei erhabnen Oberflächen; b

Fig. 280.



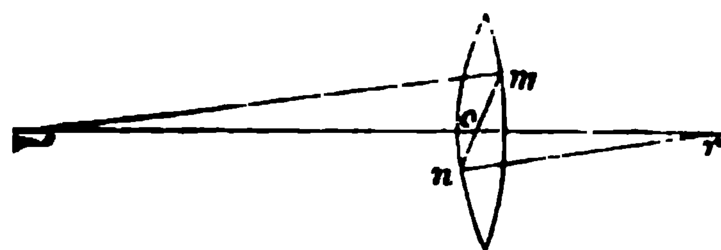
planconvexe, die eine Oberfläche eben, die andere erh c) die concavconvexe, die eine Oberfläche hohl, die a erhaben; d) die biconcave mit zwei concaven Oberflä e) die planconcave; f) die convexconcave. Die dr sten nennt man nach ihrer wichtigsten optischen Eigenschaft Sammellinsen. Sie unterscheiden sich von den drei let welche Zerstreuungslinsen heissen, leicht dadurch, das in der Mitte dicker als am Rande, die letzten aber am Rande d als in der Mitte sind. c und f führen auch die Namen Menis so wie periscopische Gläser. Gewöhnlich sind die Li aus Glas geschliffen, zuweilen aber auch aus Bergkrystall. A hat man hohle Linsen aus Uhrgläsern zusammengesetzt, dann mit einer brechenden Flüssigkeit gefüllt werden.

Man nennt eine sphärische Linse centrirt, wenn die g Linie, welche die Krümmungsmittelpuncte beider Kugelabsch verbindet, zugleich durch die Mitte der Linse geht. Planco und planconcave Linsen sind centrirt, wenn der die Mitte krummen Fläche durchschneidende Radius auf der ebnen Fl senkrecht steht. Zu optischen Zwecken sollen nur centrirte sen verwendet werden.

Ein Punct in der geraden Verbindungslinie beider K mungsmittelpuncte einer Linse, welcher die Eigenschaft ha dass jede durch denselben geführte gerade Linie an beiden gränzungsflächen der Linse auf solche Stellen trifft, die zu e der parallel stehen, wird der optische Mittelpunct gen

ser Punct liegt genau in der Mitte der Linse, wenn ihre beiden rflächen gleiche Krümmung haben. Sind sie ungleich, so nä- t er sich der Seite der stärkeren Krümmung.

Fig. 281.



Um in diesem Falle seine Lage genau zu bestimmen, ziehe man, wenn r (Fig. 281) den Krümmungsmittelpunct der einen, r' den der andern Oberfläche bedeutet, in beliebiger Richtung den Radius $r'm$, dann damit parallel den Radius rn, und verbinde m mit n durch eine gerade Linie. Der Durchschnitts- ₌t o ist der optische Mittelpunct. Es ist aber:

$$\frac{or}{or'} = \frac{nr}{mr'}.$$

Ist die eine Linsenfläche eben, so fällt der optische Mittelpunct in den ₌bschnittspunct der krummen Fläche mit ihrem auf der ebnen Fläche ₌recht stehenden Radius. Bei concav-convexen Linsen befindet sich die- Punct sogar ausserhalb der Linse, auf der Seite der stärksten Krüm- ₌.

Jede durch den optischen Mittelpunct einer Linse gehende ₌de Linie heisst eine **Axe** derselben. Geht sie zugleich noch ₌h die beiden Krümmungsmittelpuncte, wie die Linie ror', so ₌ sie **Hauptaxe** genannt. Lichtstrahlen die in der Richtung ₌r Axe durch eine Linse fahren, nennt man **Hauptstrahlen**. ₌rhalten sich, wie wenn sie durch eine von parallelen Wän- ₌gränzte Glasplatte gegangen wären, d. h. sie werden von Richtung nicht abgelenkt.

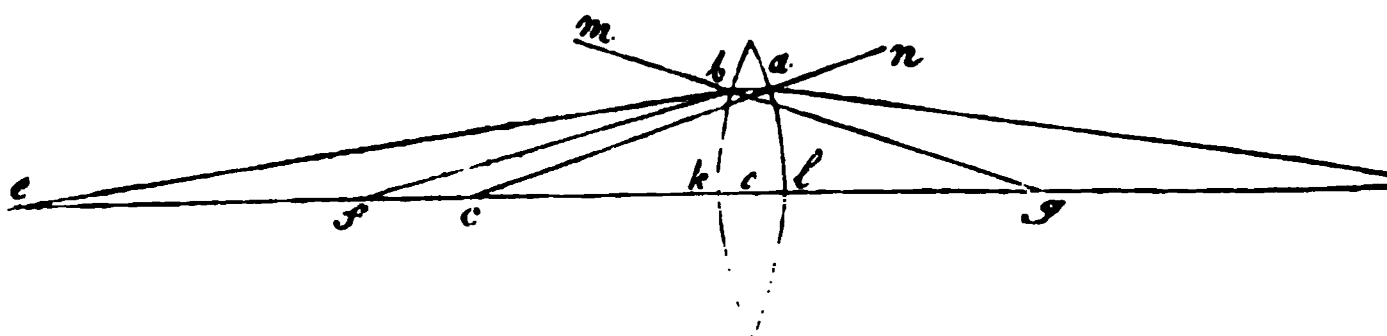
Die Linsen bestehen gleichsam aus einer grossen Zahl über- ₌der geschichteter Prismastücke, deren brechender Winkel ₌em Abstande von der Mitte zunimmt. Lichtstrahlen, welche ₌rgend einem Puncte einer Axe ausgehend, die Linse treffen, ₌en daher um so stärker gebrochen, je näher dem Rande sie ₌llen. Die allgemeine Wirkung der drei ersten Arten besteht ₌, die Divergenz der einfallenden Strahlen zu vermindern und ₌t in Convergenz zu verwandeln. Durch den Einfluss der letzten Arten werden, wie man leicht sieht, die Strahlen mehr ₌r weniger zerstreut.

₌81. **Sammellinsen.** — Wenn beide Flächen einer sehr dünnen Linse ₌sehr kleinen Segmenten der Kugeln, welchen sie angehören, entspre- ₌; oder wenn man bei stärkeren Krümmungen nur solche Strahlen in ₌ichtung zieht, die in der Nähe der Mitte einfallen (Centralstrahlen); ₌nn man, jedoch nur unter diesen Einschränkungen, die Wirkung einer ₌ellinse auf folgende Art durch Rechnung bestimmen.

Man setze (Fig. 282) den Radius der Vorderfläche $ca = r$; den der ₌fläche $gb = r'$; ferner den Abstand eines leuchtenden Punctes S von ₌optischen Mittelpuncte, nämlich $So = l$, und folglich auch wegen der ₌ geringen Dicke der Linse: $l = Sa = Sl$; dann $eo = d$ und wieder ₌rungsweise auch $d = ea = eb = ek = el$; endlich $fo = fk =$ ₌ f.

Ein Lichtstrahl (Fig. 282) *Sa* an der Vorderfläche der Linse be kommend, werde in der Richtung *ab* gebrochen, und müsste demgem

Fig. 282.



Axe *Soe* des Lichtpunktes *S* in *e* schneiden. Bei seinem Austritt a Linse, bei *b*, erleidet er aber eine zweite Brechung und wird genöth Weg *bf* zu verfolgen. Er schneidet daher die Axe in *f*.

Nun ist für die erste Brechung: $n : 1 = sin.\ naS : sin.\ bac$ auch da $sin.\ naS = sin.\ caS$

$$n : 1 = sin.\ caS : sin.\ bac$$

ferner im Dreiecke *Sac*:

$$Sa : Sc = sin.\ c : sin.\ caS$$

im Dreiecke *eac*:

$$ec : ea = sin.\ bac : sin.\ c.$$

Werden diese drei Gleichungen Glied für Glied zusammen mult so erhält man:

$$n . Sa . ec : Sc . ea = 1. \quad (I)$$

Für die zweite Brechung bei *b* ist:

$$n : 1 = sin.\ m'bf : sin.\ abg;$$

oder auch, da $sin.\ m'bf = sin.\ fbg$ und $sin.\ abg = sin.\ ebg$,

$$n : 1 = sin.\ fbg : sin.\ ebg$$

ferner im Dreiecke *fbg*

$$fb : fg = sin.\ bgf : sin.\ fbg$$

im Dreiecke *ebg*

$$eg : eb = sin.\ ebg : sin.\ bgf.$$

Diese drei Gleichungen, wie vorher, Glied für Glied multiplicirt, erhalten:

$$n . fb . eg : fg . eb = 1. \quad (II)$$

Die Gleichungen *I* und *II* verwandeln sich durch Einführung der angenommenen Zeichen, und indem man $ec = d - r$, $Sc = l + r$, $eg = d + r'$ und $fg = f + r'$ setzt, in die folgenden:

Aus *I* wird: $nl\ (d - r) : (l + r) = 1$ oder auch:

$$(nl - l - r)\ d = nlr$$

Aus *II* wird: $nf\ (d + r') : (f + r')\ d = 1$ oder auch:

$$(f + r' - nf)\ d = nfr'$$

Die erste dieser Gleichungen durch die zweite dividirt, erhält man den erforderlichen Reductionen:

$$lrr' = \{ (n - 1)\ (r + r')\ l - rr' \} f$$

und indem man noch durch $lrr'f$ dividirt:

$$\frac{1}{f} = \frac{(n - 1)\ (r + r')}{rr'} - \frac{1}{l}$$

Mit Hülfe dieser Gleichung lässt sich das Verhalten optischer Lins gen die central einfallenden Strahlen mit Leichtigkeit voraussehen.

Man hat der bequemeren Betrachtung wegen, den ersten Theil zweiten Gliedes, welcher sich auf die besondere Beschaffenheit de

eten Linse bezieht, mit $\frac{1}{p}$ bezeichnet und erhält dadurch:

$$\frac{(n-1)(r+r')}{rr'} = (n-1)\left(\frac{1}{r} + \frac{1}{r'}\right) = \frac{1}{p} \quad \text{und}$$

$$(\beta);\ \frac{1}{f} = \frac{1}{p} - \frac{1}{l} \text{ oder auch } f = \frac{pl}{l-p}.$$

lie Puncte S und f welche den Abständen l und f von der Linse ent-
len, liegen nach Annahme in der Axe der Linse. Was für den Strahl
chtig ist, gilt mit gleichem Rechte für alle unter ähnlicher Beziehung
nden Strahlen, also für alle Centralstrahlen. Die Gleichung (β) belehrt
lernach, dass alle von einem Puncte der Axe ausgehenden und die
in der Nähe der Mitte treffenden Strahlen, in Folge der Brechung wie-
i einem Puncte der Axe vereinigt werden Die Richtung des Haupt-
s eines Strahlenbündels zeigt diejenige Richtung an, in welcher alle
en nach der Brechung wieder zusammentreffen. Nehmen wir zuerst
er Punct S sei unendlich weit entlegen, also alle von ihm ausgehen-
Strahlen parallel, so hat man für l unendlich gross $\frac{1}{l} = o$, daher
p.
arallel einfallende Strahlen vereinigen sich im Abstand p von der Linse.
n Vereinigungspunct parallel einfallender Strahlen, nennt man den
npunct. Seine Entfernung vom optischen Mittelpunct die Brenn-
e. Seine Lage hängt, wie man aus Gleichung (α) erkennt, von der Be-
enheit der Linse ab. Er entfernt sich von dieser um so mehr, je grös-
Krümmungshalbmesser r und r' man gewählt hat. Ist r' unendlich gross,
at man den Fall der planconvexen Linse, deren Brennpunct also noch
il so weit entfernt liegt, als wenn $r = r'$. Seine Entfernung nimmt
mehr zu, jedoch immer im positiven Sinne, wenn r' negativ übrigens
er als r genommen wird. Diess ist der Fall der concav-convexen Linse.
ei Linsensorten a), b) und c) haben also wirkliche Brennpuncte und sie
n die Eigenschaft, Strahlen, welche parallel mit der Axe einfallen, in
n Puncte zu vereinigen.

Die Lage des Brennpunctes ist ausserdem von dem Brechungsverhält-
des Stoffes der Linse abhängig. Z. B. für Linsen aus Crownglas, die
beiden Seiten gleiche Krümmung haben, fällt der Brennpunct fast mit
Krümmungsmittelpuncte zusammen, weil $n - 1$ nahe 0,5.

Setzen wir jetzt in Formel (β), $l = p$ so findet man $\frac{1}{f} = 0$ d. h. f
lich gross. Die vom Brennpuncte ausgehenden Strahlen fallen auf der
n Seite parallel aus.

Für $l = 2p$ ist $f = 2p$. Während also der Lichtpunct aus unendlicher
rnung bis zum Abstande $2p$ gegen die Linse rückt, entfernt sich der
nigungspunct f aus dem Abstande p bis zu $2p$. Rückt der Lichtpunct noch
r bis gegen p hin, so entfernt sich f allmählig bis auf unendliche Ferne.

Es ist für die Anwendung der Linsen von sehr grosser Wichtigkeit, dass
ie Aenderungen im Abstande des aus der Ferne näher-rückenden Licht-
es, verhältnissmässig nur geringe Schwankungen in der Lage des
es f zur Folge haben, wie man deutlich aus der folgenden Zusammen-
ng ersieht.

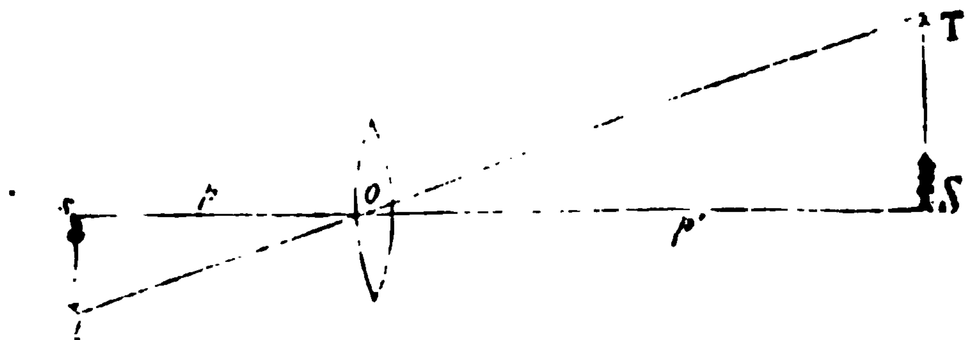
für	$l = 2p$	ist	$f = 2p$
„	$l = 10p$	„	$f = 1{,}111p$
„	$l = 20p$	„	$f = 1{,}0526p$
„	$l = 50p$	„	$f = 1{,}0204p$
„	$l = 100p$	„	$f = 1{,}0101p$
„	$l = 1000p$	„	$f = 1{,}0010p$.

Rückt der Lichtpunct über den Brennpunct hinaus gegen die L
l kleiner als p, so findet man f negativ. Z. B. für $l = \frac{1}{2}p$ ist $f = -$
die Strahlen bleiben divergirend, sie scheinen aber von einem Pu
zukommen, welcher weiter von der Linse entfernt liegt, als ihr v
Ausgangspunct. Diesen scheinbaren Vereinigungspunct nennt man
eingebildeten (imaginären).

562. Es ist sehr leicht, das Verhalten der optischen S
linsen durch den Versuch zu bewähren. Man lasse zu
Zwecke durch ein rundes, ein bis zwei Zoll weites Loc
den, einen Bündel, mit Hülfe eines Spiegels horizontal ge
Sonnenstrahlen, in das verdunkelte Zimmer einfallen, u
denselben eine Linse von mässiger Krümmung entgeg
den beleuchteten Staubtheilchen erkennt man sogleich
der Strahlen. Man bemerkt, wie sie sich mehr und mehr
triren, eine Stelle der grössten Dichtigkeit erreichen u
wieder auseinandergehen. Diese Stelle, an welcher
einem den Strahlen entgegengesetzten weissen Schirm
zendes Bild der Sonne erhält, ist der Brennpunct der Lins
man den jenseits des Brennpunctes divergirend gew
Strahlen andere Linsen darbietet, lassen sich alle, auf d
der Rechnung vorausgesehenen Resultate, durch das Ex
bestätigen.

Kleine Drehungen einer Linse um ihren optischen Mi
in welchem Sinne sie auch stattfinden mögen, zeigen s
Einfluss auf die Lage des Vereinigungspunctes der Stral
wie auf die Deutlichkeit des erhaltenen Sonnenbildes. M
hieraus schliessen, dass, was für die Hauptaxe bewiese
innerhalb gewisser, nicht sehr weiter Gränzen, auch für
benaxen gültig ist. Jeder helle Gegenstand, auf der ei
einer Linse und ausserhalb ihrer Brennweite befindlich, v
vermöge der von ihm ausgehenden Strahlen auf der and
ein Bild (Luftbild) erzeugen, und zwar wird jeder Punct
genstandes einen Vereinigungspunct der von ihm ge
Linse gerichteten Strahlen in derjenigen geraden Linie

Fig. 283.



benaxe erhalten, die von dem Puncte aus durch d
schen Mittelpunct der Linse geht. Die Bilder stehen da
kehrt.

Um diese Bilder mehreren Personen zugleich zu zeigen, kann ine gute argandische Lampe dienen, die man mit einem gechwärzten Blechcylinder umschliesst, in welchen eine geeignete igur, z. B. ein Kreuz eingeschnitten ist. Die durch diese Oeffung fahrenden Strahlen erzeugen dann auf der andern Seite der inse ein Bild, das auf einem Schirm aufgefangen die Gestalt der effnung hat, aber verkehrt steht. Seine Grösse hängt von der renn weite, und der Entfernung der Lampe von der Linse b. Befindet sich die Lampe zwischen der einfachen und doppeln Brennweite, so entstehen vergrösserte Bilder. Befindet sie ich jenseits $2p$, so ist das Bild kleiner als sein Original. In der ppelten Brennweite selbst aufgestellt, erzeugt sich auch das ild in der doppelten Brennweite, und hat die Grösse des Gegentandes.

Im Allgemeinen ist die lineare Dimension des Bildes durch das Verltniss (Fig. 283)

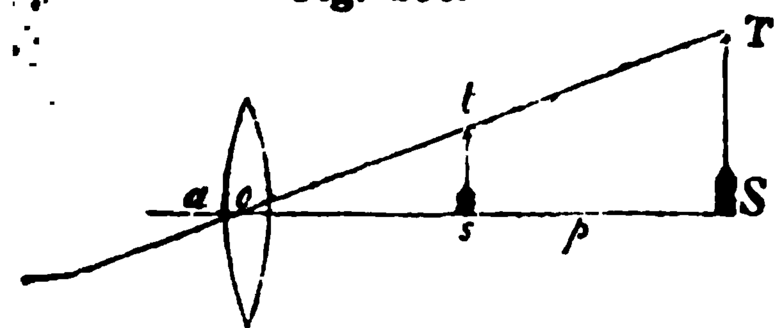
$$\frac{ST}{st} = \frac{oS}{os} = \frac{l}{f}$$

gegeben.

Nach Gleichung (β) ist $\frac{l}{f} = \frac{l-p}{p}$. Es sei l ein hinlänglich gros Abstand, um p dagegen vernachlässigen zu können, so sieht man, dass in diesem Abstande auf einem Schirm erzeugte Bild um so grösser aus, je kleiner die Brennweite der angewendeten Linse.

In einem Falle kommt kein Bild zu Stande, das auf einem rme aufgefangen werden kann; dann nämlich, wenn der enstand zwischen Linsenfläche und Brennweite aufgestellt d.

Fig. 284.



Es ist schon früher gezeigt worden, dass die Strahlen in diesem Falle nicht convergirend gemacht, werden können. Da aber doch ihre Divergenz vermindert worden ist, so haben die von s (Fig. 284) ausgehenden rahlen beim Austritt aus der Linse eine solche Richtung angenommen, als kämen sie von S her, die von t in der Neaxe to ausfahrenden scheinen vom Puncte T derselben Axe zustammen. Es entsteht daher für ein bei a vor der Linse bedliches Auge, ein vergrössertes und aufrechtstehendes Bild T in dem Abstande

$$f = \frac{lp}{p-l}, \text{ wenn } os = l.$$

Soll dieses Bild mit verschiedenen Linsen immer in demseln Abstande hervorgebracht werden, so findet man leicht, dass

auch für diesen Fall die vergrössernde Kraft einer Linse sich nahe umgekehrt wie ihre Brennweite verhält.

563. Zerstreuungslinsen. — Der Ausdruck $(n-1)\left(\frac{1}{r}+\frac{1}{r'}\right)$ kann in drei Fällen negativ werden. Wenn die Radien r und r' beide negativ, d. h. wenn beide Oberflächen der Linse entgegengesetzt gekrümmt sind, wie bei der biconcaven Linse; wenn r negativ und r' unendlich gross ist, wie bei der planconcaven Linse; und endlich drittens wenn r negativ und r' zwar positiv aber grösser als r ist, wie bei der convex-concaven Linse. Für diese drei Linsensorten ist also p ein negativer Werth, daher

$$\frac{1}{f}=-\frac{1}{p}-\frac{1}{l} \text{ oder auch } f=\frac{pl}{l+p}$$

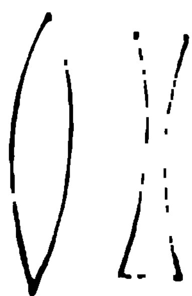
Das Verhalten der Zerstreuungslinsen ergibt sich hieraus sehr einfach. Die Vereinigungspuncte der Strahlen sind stets negativ, d. h. sie liegen auf der Seite der Linse, von welcher die Strahlen herkommen, und sind also nur scheinbar vorhanden; daher der Name: eingebildete (imaginäre) Brennpuncte. Der Abstand dieser Puncte von der Linse ist immer geringer als die Entfernung der Ausgangspuncte der Strahlen, denn welchen Werth man l beilegen mag, so findet man doch f immer kleiner als l. Die scheinbaren Bilder liegen demnach stets zwischen Gegenstand und Linse. Sie sind verkleinert und aufrecht stehend.

594. Die Bilder, welche man durch eine gewöhnliche Linse erhält, sind je nach der Stärke der Ablenkung, welche die Lichtstrahlen erfuhren, mehr oder weniger von Farben umsäumt. Es ist klar, dass die Linse gleich dem Prisma das gebrochne Licht in Farben zerstreuen muss.

Die blauen Strahlen, als die brechbarsten, durchkreuzen die Axe früher als die gelben und rothen. Man erhält daher für jeden durch die Linse gebrochnen Strahlenkegel anstatt eines Brennpunctes eine ganze Reihe hintereinander und folglich auch eine eben so grosse Anzahl hintereinander liegender ungleich grosser Bilder. Will man das zunächst an der Linsenfläche liegende blaue Bild auffangen, so sind die anders gefärbten Strahlen noch nicht zur Vereinigung gekommen. Fängt man das rothe Bild auf, so sind die blauen Strahlen bereits wieder auseinander gegangen. Obschon sich nun zwischen diesen beiden Gränzen eine Stelle der kleinsten chromatischen Abweichung nachweisen lässt, so kommen doch nirgends ganz farbenfreie Bilder zu Stande.

Man verbessert diese Unvollkommenheit durch Verbindung einer Sammellinse von Crownglas mit einer Zerstreuungslinse von Flintglas (Fig. 285), beide so geschliffen, dass sie gleiche Farben zerstreuende Kraft besitzen. Ein solches System, das bei richtiger Berechnung, wenn auch nicht ganz und gar die Farbenzerstreuung aufhebt (No. 559) doch ihren störenden Einfluss beseitigt, wird eine achromatische Linse genannt.

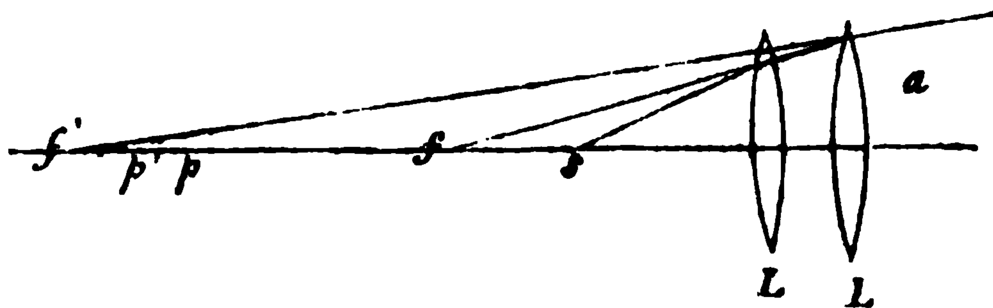
Fig. 285.



565. Eine zweite Mangelhaftigkeit der optischen Linsen beruht auf der ırischen Gestalt ihrer Oberflächen. Die bisher erörterten Regeln zur Bemmung der Lage der Bilder, beziehen sich auf Linsen von sehr schwacher mmung, oder bei stärker gekrümmten Oberflächen ausschliesslich nur für Centralstrahlen. Strahlen, die entfernter von der Mitte gegen den Rand einfallen (Randstrahlen), werden zu stark gebrochen um mit den Centralhlen im Brennpuncte zusammentreffen zu können. Sie schneiden vielmehr er die Axe, um so näher der Linsenfläche, je näher dem Rande derselsie eingefallen waren. Indem sie sich dann wieder ausbreiten, bevor die Centralstrahlen zur Vereinigung kommen konnten, bilden sie um durch die letzteren erzeugte helle Bild, Kreise von geringerer, nach ten hin abnehmender Lichtstärke, die sogenannten Abweichungsise. Die hieraus entspringende Undeutlichkeit der Bilder nennt man die reichung wegen der Kugelgesalt (der Linsen). Um sie unschädzu machen, muss man die Linsen vom Rande aus gegen die Mitte so bedecken (blenden), als unumgänglich ist um Bilder von befriedigen-Schärfe zu erhalten. Freilich vermindert sich mit dem gestatteten Oeffgsdurchmesser der Linse zugleich auch das Feld über welches sich ihre ksamkeit erstreckt, so wie die Lichtstärke der Bilder. Dem Gebrauche stark gewölbter und folglich stark vergrössernder Linsen, ist dadurch Gränze gesetzt. Vieles lässt sich indess hierbei durch richtige Ausund Stellung der Linsen gewinnen. Aus der Gleichung $\frac{1}{p} = (n-1)\left(\frac{1}{r} + \frac{1}{r'}\right)$; ($\alpha$, No. 561) ersieht man, dass ein und dieselbe Brennweite r die Centralstrahlen, mit Linsen von sehr mannigfaltiger Krümmung ern werden kann, vorausgesetzt nur, dass die Summe $\frac{1}{r} + \frac{1}{r'}$ unverrt bleibt. Die sphärische Abweichung wird aber offenbar bei derjenigen rdnung am geringsten sein, bei welcher die Ablenkung der Randstrahihren kleinsten Werth hat, d. h. bei welcher der Aus- und Einfallswindes Strahls einander gleich sind (No. 554). Diess geschieht z. B. für llel einfallende Strahlen, wenn die Krümmungsradien der Linse sich wie 6 verhalten, und wenn dann die stärker gekrümmte Fläche den einnden Strahlen dargeboten wird. Schief einfallenden Strahlen würde man die kleinste Ablenkung der Randstrahlen zu erzielen, gerade die flacher rümmte Oberfläche einer Linse entgegensetzen müssen.

Das wirksamste Mittel die sphärische Abweichung zu verbessern, bet darin, an der Stelle einer einzigen stark brechenden Linse, deren mehvon schwächerer Krümmung aufeinander zu legen. Nach Gleichung $= \frac{1}{f} + \frac{1}{l}$ (β, No. 561) ist für einen bestimmt angenommenen th von f oder l, das Verhältniss von f zu l, d. h. das Verhältniss der

Fig. 286.



ernungen des Gegenstandes und seines Bildes von der Linse durch die nweite p gegeben. Es seien L und L' (Fig. 286) zwei Linsen von grosser

Brennweite, also sehr mässiger Krümmung, für welche obige Gleichung Geltung hat; p und p' ihre Brennpuncte. Der Ausgangspunct der Strahlen mag bei s, zwischen der ersten Linse und ihrem Brennpuncte liegen. Durch die Brechung in der ersten Linse werden die Strahlen so geleitet, als kämen sie von f her. f ist daher ihr scheinbarer Ausgangspunct beziehungsweise zur zweiten Linse, in welcher sie dann so abgelenkt werden, dass sie für ein bei a befindliches Auge vom Puncte f' abzustammen scheinen. Setzt man demnach für die erste Linse $\frac{1}{f} = \frac{1}{p} - \frac{1}{l}$, so ist für die zweite, unter der Voraussetzung der Zeichnung, dass l kleiner als p, folglich f negativ:

$$\frac{1}{f'} = \frac{1}{p'} + \frac{1}{f} = \frac{1}{p'} + \frac{1}{p} - \frac{1}{l};$$

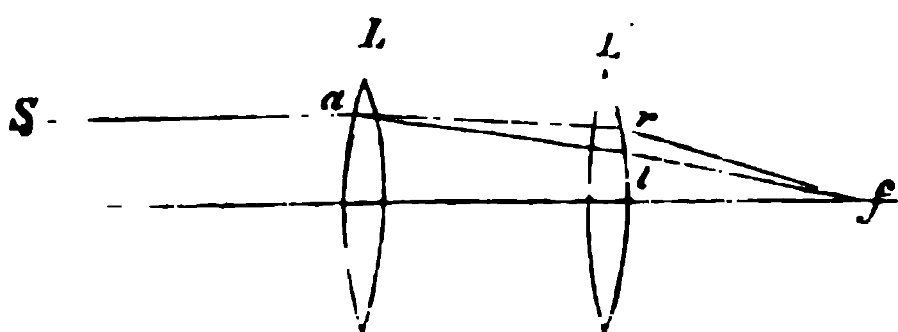
$$\text{also } \frac{1}{f'} + \frac{1}{l} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = \frac{1}{P}$$

Aus diesem Resultate ist ersichtlich, dass wenn P die Brennweite einer stark gekrümmten Linse vorstellt, und f' den Abstand des Bildes für eine gegebene Entfernung l des Gegenstandes bedeutet, dasselbe Verhältniss f' zu l auch durch mehrere aufeinander liegende Linsen erhalten werden können, unter der Bedingung, dass $\frac{1}{P} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} + \frac{1}{p''} + \ldots$ Im letzteren Falle erreicht man aber den Vortheil, dass ohne die Zerstreuungskreise zu verstärken, ein grösserer Oeffnungsdurchmesser genommen werden darf. Ein Theil des erzielten Lichtgewinnes geht allerdings durch die wiederholten Reflexionen an den Oberflächen der Linsen wieder verloren.

566. Durch geeignete Auswahl und Verbindung zweier Linsen von Crownglas ist es gelungen, die Wirkung einer einzigen Linse von viel kürzerer Brennweite zu erhalten und doch zugleich neben der sphärischen auch die chromatische Abweichung grösstentheils aufzuheben. Eine solche Combination heisst eine **aplanatische** Linse.

Es sei Sa (Fig. 287) ein auf der ersten Linse L einfallender und durch die Brechung in seine Bestandtheile zerlegter Strahl. Der rothe Strahl, als der weniger brechbare, nimmt den Weg ar, der blaue den Weg al. Er-

Fig. 287.



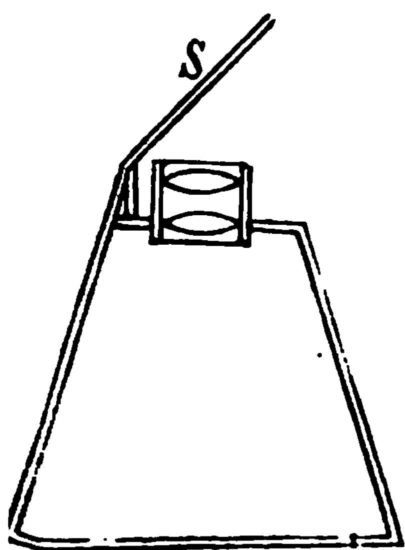
sterer erreicht daher die zweite Linse L' an einer ihrem Rande näher liegenden Stelle und kann folglich bei richtigem Abstande beider Linsen so gebrochen werden, dass er mit dem blauen Strahle in dem Puncte f der Axe zusammentrifft.

Die gewöhnliche achromatische Linse ist bei kurzer Brennweite nicht frei von der sphärischen Abweichung. In Fällen wo man einer kurzen Brennweite und doch zugleich auch einer grossen Oeffnungsweite der Linse bedarf, bietet sich daher die beschriebene Linsenverbindung als ein sehr nützliches Auskunftsmittel.

Vom menschlichen Auge und den dioptrischen Instrumenten.

567. Die dunkle Kammer (camera obscura). — ...ch enge Oeffnungen bekommt man, wie früher (No. 543) er...rt wurde, verkehrt stehende Bilder äusserer Gegenstände, die ...och nur geringe Lichtstärke besitzen und bei zunehmender ...ite der Oeffnung undeutlich werden. Die Benutzung der Sam...linse gestattet weitere Oeffnungen, also grössere Helligkeit, ...e dass die Richtung des Hauptstrahls, in welcher jeder äus...e Punct hinter der Oeffnung ein Bild erzeugt, geändert wird. ... ist jetzt, je nach der Wahl der Linse, die Stelle hinter der ...fnung bestimmt, auf welcher ein deutliches Bild erscheinen ...n. Diese Stelle ist für alle Gegenstände, welche um mehr als ...20fache Brennweite von der Linse entfernt liegen, fast gleich ...o. 561). Für nähere Gegenstände muss der Schirm, auf wel...m das Bild aufgefangen werden soll, mehr und mehr von der ...se abgerückt werden, oder wenn der Schirm unbeweglich ist, ...s die Linse verschiebbar sein. Um die dunkle Kammer mit ...quemlichkeit zum Nachzeichnen entfernter Gegenstände be...tzen zu können, wird die Linse in passendem Abstande über einem ...che angebracht, und ausserhalb des dunklen Raumes ein Spiegel S (Fig. 288) so aufgestellt, dass er das Licht senkrecht gegen die Linse wirft. Durch die Erfindung der Photographie ist das Bedürfniss entstanden, camera obscura Bilder von vollkommenster Schärfe und möglichst grosser Lichtstärke hervorbringen zu können.

Fig. 288.



Linsenverbindungen von ausgezeichneter Wirksamkeit werden zu diesem Zwecke von Voigtländer in Wien nach einer Angabe von Petzval verfertigt.

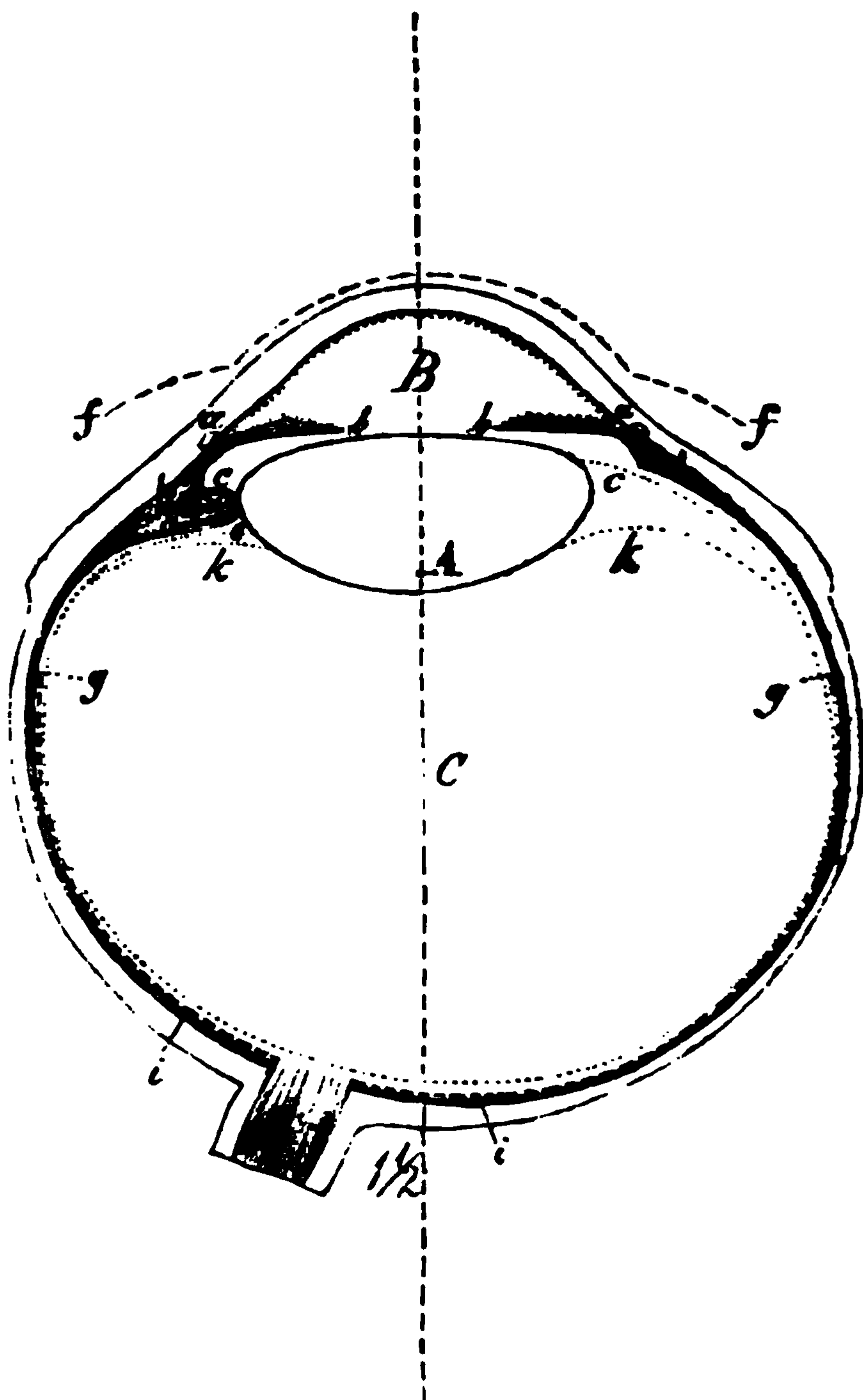
568. Das Auge als optische Geräthschaft. — Das ...ge in seiner Beziehung als optisches Werkzeug gleicht einer ...mera obscura (No. 544), in welcher Schärfe und Helligkeit der ...er durch ein in grosser Vollkommenheit ausgebildetes Linsen...tem, bestehend aus der Hornhautkrümmung und dreien, das ...re Auge ausfüllenden, sehr durchsichtigen, theils flüssigen, ...ls halbflüssigen Medien bewirkt wird.

Der Augapfel, annähernd kugelförmig, an der hinteren ...he etwas abgeplattet, mit stärkerer Wölbung an dem durch-

sichtigen Theil der vorderen Fläche, liegt in seiner knöcl mit Fett ausgepolsterten Höhle, umgeben von Muskeln, v ihm innerhalb eines mässigen Spielraums, eine sehr gros weglichkeit nach allen Richtungen ertheilen.

Man hat gefunden, dass diese Bewegungen um einen weglichen Punct *C*, nahe in der Mitte des Augapfels, den punct geschehen (Fig. 289).

Fig. 289.



Die äussere Umkleidung des Augapfels besteht aus weissen, lederartigen, sehr elastischen Haut von etwa ½ Dicke, der harten Haut (sclerotica), deren vorderer, s gewölbter Theil durchsichtig ist und den Namen Hornhaut nea) erhalten hat. Die Dicke der letzteren beträgt in der gewöhnlich unter einer halben Linie, verstärkt sich nach dem Rande hin. Die Krümmung ihrer Vorderfläche s sich der elliptischen zu nähern, ist aber noch nicht gena kannt.

Eine gerade Linie, von der Mitte der Hornhaut zur Mit hinteren Wölbung der harten Haut gezogen, wird die Augei

er Sehaxe genannt. Sie bildet die optische Axe des Linsen-stems und enthält auch den Drehpunct des Auges. Etwas seit-irts von dieser Linie gegen die Nase hin, dringt ein Nerven-ang, der Sehnerv, durch die hintere Fläche der harten Haut das innere Auge und vermittelt dessen Verbindung mit dem hirn. Der Abstand vom Mittelpuncte der Einsenkung des Seh-rvs zum Fusspuncte der Sehaxe beträgt ungefähr $1\frac{1}{2}$ Linie.

Die ganze Innenfläche der sclerotica bis zum Rande der rnhaut ist mit einer an Blutgefässen sehr reichen Haut, der derhaut (chorioidea) überzogen. Diese geht am vordern Ende die Regenbogenhaut (iris) über, welche sich hinter der rnhaut quer durch das Auge zieht und nur in der Mitte eine eine Oeffnung, die Pupille (das Lichtloch), von $1\frac{1}{2}$ Linien mitt-er Weite lässt.

Unmittelbar vor ihrem Uebergange in die Iris verdickt sich die lerhaut zu einem ringförmigen Wulste, welcher Ciliarkörper nannt wird. Sein vorderer Theil, das Ciliarband, weiss und ltenlos, vermittelt einen genauen Zusammenhang der Aderhaut t der harten Haut und dem Rande der Hornhaut. Der nach Innen wendete Theil, der eigentliche Ciliarkörper ist vielfach gefaltet d schwarz. Ein Kreis strahlenförmig aus ihm vorspringen-r Falten, die Ciliarfortsätze (processus ciliares) erstrecken ch bis zur Krystalllinse, deren Rand sie einfassen.

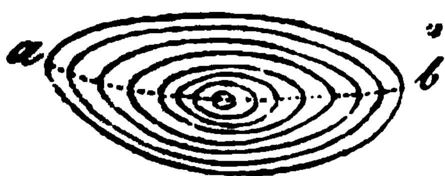
Die Aderhaut sammt dem inneren Theile des Ciliarkörpers d dessen Fortsätzen ist mit einem dunkelbraunen, fast schwar-n Farbstoffe bedeckt und durchtränkt. Derselbe Farbstoff über-eht auch die hintere Fläche der Iris bis zum Pupillenrande und rhindert so den Eintritt alles störenden Lichtes.

Auf der Innenseite der Aderhaut und gleichsam in das Schwarz sselben eingetaucht, breitet sich der Sehnerv als eine feine rvenhaut, die Netzhaut (retina), aus. Nach vorn erstreckt sie ch bis zum Ciliarkörper, mit dem sie verwachsen ist.

Ihre Dicke beträgt am grössten Theile ihrer hinteren Ausdeh-ng $\frac{1}{15}$ — $\frac{1}{10}$ Linie. Gerade da, wo sie von der Axe durchsetzt , befindet sich ein gelber Fleck von 1 Linie Durchmesser. Es ihr empfindlichster Theil, und hier erzeugen sich die schärfsten der.

Die Krystalllinse (*A*) mit der sie einschliessenden glas-igen Linsencapsel gleicht einer doppelt convexen optischen Glaslinse. Sie sitzt nahe hinter der Pupille und besteht aus glashellen Fasern, welche Schichten bilden, die bei zunehmender Festigkeit nach Innen, einander so umgeben, dass sich die Inneren, gegen den Kern hin, mehr und hr der Kugelgestalt nähern (Fig. 290). Ein Durchschnitt der

Fig. 290.



vorderen flachen Oberfläche schliesst sich unter den Kegelschnitten am nächsten einer Ellipse an; die mehr gewölbte Hinterfläche nähert sich der Parabel*). Die Linse ist so gestellt, dass ihre optische Hauptsaxe mit der Sehaxe zusammenfällt. Sie scheidet den inneren durchsichtigen Theil des Augapfels in zwei Abtheilungen von sehr ungleicher Grösse. Der grössere hintere Raum ist von der Glasfeuchtigkeit ausgefüllt, der viel kleinere vordere Raum zwischen Hornhaut und Linse und auf beiden Seiten der Pupille enthält die wässerige Flüssigkeit. Die letztere ist dünnflüssig; die Glasfeuchtigkeit dagegen, weil sie von einem sehr durchsichtigen Zellgewebe durchsetzt und von der gleich durchsichtigen Glashaut eingeschlossen ist, zeigt einen gallertartigen Zusammenhang. Die Glashaut ist mit der Netzhaut an den Ciliarkörper angewachsen; in einer Vertiefung derselben sitzt die Linsenkapsel fest.

Die Linse, wie die beiden Augenflüssigkeiten, bestehen ihrer chemischen Beschaffenheit nach fast nur aus Wasser. Auch unterscheiden sich die Brechungsexponenten der beiden letzteren kaum von der des Wassers. Man findet:

Für das reine Wasser $n = 1{,}335$,
für die wässrige Feuchtigkeit $n = 1{,}337$,
für die Glasfeuchtigkeit $n = 1{,}339$.

Das Brechungsverhältniss der Linse nimmt von den äusseren zu den inneren Schichten merklich zu. Man hat gefunden:

für die äussersten Schichten, $n = 1{,}357$,
für die mittleren Schichten, $n = 1{,}387$,
für die innersten Schichten, oder den Kern, $n = 1{,}407$.
Als Mittel aller Schichten, $n = 1{,}384$.

Dieser Mittelwerth entspricht jedoch keineswegs der ablenkenden Kraft der Linse, auf die in der Umgebung ihrer Axe durchfallenden Strahlen. Diese Kraft ist vielmehr nicht unbedeutend grösser, weil die inneren Theile der Linse nicht bloss durch vermehrte brechende Kraft, sondern durch die zunehmende Krümmung, die Ablenkung vermehren. Senff, der auf diesen Gegenstand zuerst die Aufmerksamkeit lenkte, fand die durch eine Ochsenlinse bewirkte Ablenkung, wenn man den Stoff der Linse, zur Bequemlichkeit der Rechnung, als ein Mittel von gleichartiger brechender Kraft betrachtet, dem Brechungsexponenten $n' = 1{,}539$ entsprechend. Unter derselben Voraussetzung hat Listing in einer Abhandlung über den Gang der Lichtstrahlen im menschlichen Auge (Handwörterbuch der Physiologie von R. Wagner IV. 451.) $n = 1{,}456$ angenommen.

Das Brechungsverhältniss der Hornhaut ist, so viel man weiss, von dem der wässrigen Feuchtigkeit nicht merklich verschieden. Die in das Auge dringenden Lichtstrahlen erleiden daher, bevor sie die Netzhaut erreichen können, wesentlich drei Ablenkungen; die erste und stärkste an der Vorderfläche der Hornhaut, die zweite und dritte an der Vorder- und Hinterfläche der Linse. Die beiden letzten sind jedoch von geringerer Bedeutung als die erste; denn da die Linse auf beiden Seiten von Mitteln von nicht sehr viel geringerer brechender Kraft umgeben ist, so entspricht die optische Wirksamkeit ihres Stoffes nur dem Quotienten $\frac{n'}{n} = \frac{1{,}456}{1{,}337} = 1{,}089$ (No. 555.)

*) Anatomische Beschreibung des menschlichen Augapfels von Ernst Brücke.

hiernach, dass die Anordnung der Linse hauptsächlich die Aufhe-
phärischen Abweichung bezweckt; worauf überdiess auch ihre
re Structur hinzielt. Vielleicht hat sie aber auch mit die Bestim-
.hnlicher Weise, wie es bei aplanatischen Linsen geschieht, auf
gung der chromatischen Abweichung hinzuwirken. Denn zu die-
te ist in dem Auge kein anderes Hülfsmittel vorgesehen, und doch
.einen Zweifel, dass die Lichtstrahlen beim Eingang in die Horn-
arbenzerstreuung erfahren.

lich der linearen Verhältnisse des Auges haben die folgenden Ab-
das meiste Interesse für die optische Frage.

		Par. Linien:
sradius der Vorderfläche der Hornhaut in der Umgebung der Axe	$r =$	3,54.
sradius der Vorderfläche der Linse, in der Axe	$r' =$	4,43.
sradius der Hinterfläche der Linse in der Axe	$r'' =$	2,66.
Linse in der Axe		2,10.
es gelben Flecks von der Vorderfläche der Hornhaut		10,20.
er Hinterfläche der Linse von der Vorderfläche der ornhaut		4,40.
es Drehpunctes von der Vorderfläche der Hornhaut		5,60.
es Mittelpunctes der Pupille von der Vorderfläche der ornhaut		1,16.
es Mittelpunctes der Pupille von der Vorderfläche der Linse		0,12.
te Entfernung der Drehpuncte beider Augen		30'''.

ıtstrahlen, welche auf der Hornhaut senkrecht auffallen,
in einem nur mit gleichartiger Flüssigkeit gefüllten Auge
:hen bis zur Netzhaut gelangen, und sich im Krümmungs-
ıcte der Hornhaut kreuzen. Dieser Punct würde dann der
Mittelpunct sein.

:h die Wirkung der Linse wird derselbe der vordern Seite
əs etwas näher nach *o* gerückt und liegt demnach der
näher als ihr Krümmungsmittelpunct. **Listing**, indem
,545'''; $r' = 4{,}43'''$ und $r'' = 2{,}66'''$ setzte, fand die
ng des optischen Mittelpunctes von der Hornhaut = 3,31

dasselbe Auge lag der innere Brennpunct, oder diejenige
n welcher parallel einfallende Strahlen zusammentreffen,
n von der Vorderfläche der Hornhaut entfernt. Der Ab-
s äussern Brennpunctes oder desjenigen Punctes, von
ı ausgehend die Lichtstrahlen nach der Brechung parallel
etzhaut gelangen, betrug 5,69 Linien.

Netzhaut in ihrem ganzen Umfange empfängt und em-
ie Lichteindrücke, deren Quelle wir aber nicht in den ver-
ıen Richtungen, in welchen die von einem Puncte ausge-
Lichtstrahlen die Netzhaut treffen, sondern nur in der
; des Hauptstrahls oder in der geraden Linie von dem
uncte durch den optischen Mittelpunct nach Aussen auf-
(No. 544). Wegen der hervorspringenden Wölbung der
t können selbst sehr schief einfallende Strahlen in das
uge gelangen. Das Sehfeld unserer Augen erhält da-

fest, so überzeugt man sich sogleich, dass fast au
auch nur dieser einzige augenblicklich deutlich gese
kann. Das Feld des deutlichen Sehens ist also aus
klein. Um dem Auge einen möglichst grossen Umfa
feldes sichern zu können, ist auf dem grössten Theil
fanges die Deutlichkeit geopfert; dafür hat ihm aber
reichlichen Ersatz die Fähigkeit verliehen, die Sehax
ligkeit auf diejenigen Puncte richten zu können, auf
rade der Gedanke verweilt. Hauptsächlich für solche
ches aus einem Puncte der Axe kommt, vertritt die I
einer Blendung, indem sie die schief einfallenden S
löscht und dadurch verhindert in das Innere des A
langen.

Aber auch die Axenstrahlen können nicht aus
nungen deutliche Bilder auf die Netzhaut werfen.
men gesundes Auge kann Geschriebenes innerhalb
von 8 bis höchstens 12 Zoll gewöhnlich am deutlic
Rückt man das Papier näher an das Auge, so verwisc
und [illegible] die Schärfe der Linien und bald erhält ma
der grössten [illegible] keine begrenzten Bilder m

Diese Erfahrungen entsprechen ganz dem früher
Satze, dass die [illegible] erzeugten Bilder, von d
[illegible] Gegenstand sel
ungenau [illegible] dass der Bren
Auges [illegible] legt, werden se
diege [illegible] ganz scharf auf der
[illegible] nicht mehr
[illegible] Entfernung grösse
[illegible] bser he
[illegible] unter

xe ausfahrenden Strahlen nicht ein Punct, sondern ein Flä-
stück der Netzhaut beleuchtet werden. Hieraus erklärt sich
ommen, warum Gegenstände, welche dem Auge zu nahe
, nicht mehr deutlich sichtbar sind. Aber die Erfahrung
dass das deutliche Sehen keineswegs auf eine Stelle be-
nkt ist, sondern nur bei einer gewissen, bei verschiedenen
n nicht ganz gleichen Stelle, eine Gränze hat. Gesetzt z. B.
Gränze sei, wie es der gewöhnliche Fall ist, 8 Zoll, so wird
esunde Auge nicht blos in diesem Abstande, sondern auch in
ll, in 24 Zoll und häufig selbst noch in grösserer Entfernung
m lesen können, ungeachtet doch z. B. die von einem Puncte,
Fuss vor dem Auge liegt, herkommenden Strahlen sich
in 0,2 Linien Entfernung hinter dem Brennpuncte vereini-
nüssen. Aus dieser Fähigkeit des Auges, aus verschiedenen
nden deutlich zu sehen, hat man die Folgerung gezogen,
es das Vermögen besitzen müsse, sich den Abständen anzu-
n; ein Schluss, der überdiess noch durch die andere Erfah-
bestätigt wird, dass es unmöglich ist, zwei in der Sehaxe
ich weit hintereinander befindliche kleine Gegenstände, gleich-
deutlich sehen zu können. Man hat das Anpassungs - Ver-
n (die Accommodation) auf drei, möglicher Weise von der
chaft des Willens abhängige Veränderungen im Zustande des
s zurückzuführen gesucht. Sie sind: 1) ein Zurückweichen
letzhaut, bewirkt durch seitliches Zusammendrücken des
pfels; 2) ein Vorschieben der Linse gegen die Hornhaut und
lge davon, ein Vorrücken des optischen Mittelpunctes; 3) Ver-
ung und Erweiterung der Pupille.

Aus den vorhererwähnten Beispielen ist leicht zu ersehen,
Schwankungen im Abstande des gelben Fleckes vom Kreu-
spuncte der Hauptstrahlen, von wenig mehr als einer halben
, die aber dem Willen unterworfen wären, für das Bedürfniss
ccommodation ausreichen würden. Aber selbst für so kleine
erungen fehlt es bis jetzt an einem ganz sichern Nachweise
ie bedingenden Muskelthätigkeit. Die Veränderungen in der
der Pupille dagegen kennt jedermann. Man weiss, dass sie
m Dunkeln sehr erweitert, aber auch bei blendendem Lichte
nen äusserst geringen Umfang zusammenzieht. Bei genauerer
achtung hat man ferner bemerkt, dass das Lichtloch allemal
er wird, wenn man den Blick auf einen entfernten Punct
t, dagegen sich verengert, sobald man einen ganz nahen
nstand ansieht. Um die Bedeutung dieser Aenderungen rich-
urtheilen zu können, halte man einen kleinen Gegenstand so
vor das Auge, dass seine Umrisse verschwimmen. Man be-
chte ihn dann in derselben Nähe durch eine enge Oeffnung
em Kartenblatt, man wird jetzt ein zwar sehr lichtschwaches
leutliches Bild erhalten. Offenbar haben sich die von einem

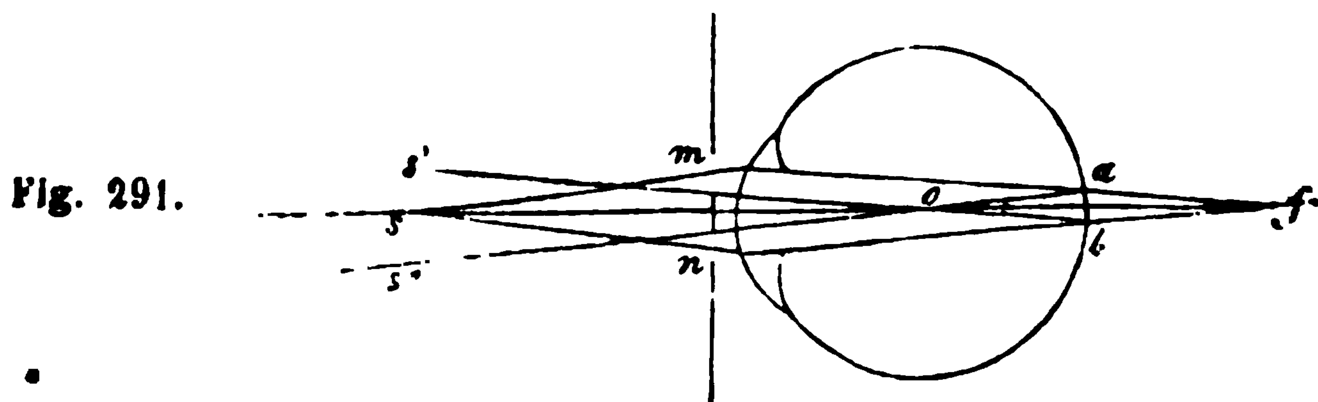
Puncte diesseits der deutlichen Sehweite ausgegangenen len auf der Netzhaut noch nicht in einem Puncte wieder geu können. Doch ist die Stelle, welche sie treffen, in d am stärksten erhellt, während sich nach dem Rande hin Lichtkreise, die sogenannten Zerstreuungskreise, befinden die künstliche Verengerung der Pupille mit Hülfe des Kart wurde die Breite des einfallenden Lichtkegels und folgli die Grösse des beleuchteten Flecks auf der Netzhaut dert, die Umrisse des Bildes konnten daher deutlicher treten.

Man denke sich nun ein Auge im natürlichen Zust das deutliche Sehen in der Entfernung von etwa 12 — 18 gepasst, so wird dasselbe Auge auch noch in etwas ge z. B. in 8 Zoll Entfernung, allein schon durch Vereng Pupille, deutliche Bilder gewinnen. Ein Auge, das in zu Abstand gut sieht, bedarf auf weiterhin keiner besonderen modation, weil in diesem Falle die Netzhaut dem Brennp nahe gerückt ist, dass die durch einen entlegeneren P wirkten, gewöhnlich sehr lichtschwachen Zerstreuun nicht mehr empfunden werden.

Die Wirkung der Zerstreuungskreise lässt sich durch genden, nach dem Pater Scheiner benannten, lehrreic such sehr anschaulich machen. Man steche in ein Karten einer Nadel zwei Löcher, ungefähr auf 1 Linie Abstan einander, und betrachte durch dieselben mit dem einen Au rend das andere geschlossen ist, in der Entfernung der de Schweite, eine Nadelspitze, man wird sie einfach sehen, wie mit freiem Auge. So wie man sie aber näher rückt trächtlich entfernt, erscheint ein doppeltes, lichtschwach Verdeckt man das eine Loch, z. B. das zur Rechten, du schieben eines scharf abgeschnittenen Papiers, so versc das eine Bild und zwar im ersten Falle, wenn die Nadel d der deutlichen Sehweite gehalten wird, das linke, im ande das rechte.

Es sei *o* (Fig. 291) der optische Mittelpunct des Auge

Fig. 291.



betrachtete Nadelspitze; das von ihr aus durch die Oeffnu und *n* des Kartenblattes einfallende Licht würde sich erst f

en können, und trifft daher die Netzhaut in *a* und *b*
ı einander getrennten Stellen, obschon innerhalb des
r Zerstreuungskreise, die sich bei Entfernung des
erzeugen müssten. So entsteht der Eindruck von
ı, von welchen das eine in der Richtung der Linie *bo*
ıtischen Mittelpunct, also in *s'*, das andere in der Rich-
ie *ao*, also in *s''* aufgesucht wird. Es ist nun leicht
ı, warum durch Bedecken der Oeffnung *m* nicht das
ern *s''* verschwinden muss. Auch begreift man, wa-
das Umgekehrte eintritt, wenn das Licht von einem
ı Puncte einfiel, und die Strahlen ihren Vereinigungs-
ı vor der Netzhaut gefunden hatten.

heiner'sche Versuch lässt sich als ein sehr scharfes
tel des Anpassungsvermögens benutzen. Man halte
vor einander, die eine in der Gränze der deutlichen
e andere im doppelten oder dreifachen Abstande, und
uge so, dass beide Nadeln fast in die Axenlinie fallen.
an dann die nähere durch die Oeffnungen des Karten-
nuss sie einfach, dagegen die entferntere doppelt er-
lickt man hierauf die entferntere an, so muss sich
ı, aber die nähere doppelt zeigen. Da bei diesem Ver-
itwirkung der Pupille ganz ausgeschlossen ist, so
ı nur solchen Personen gelingen, welche ein von den
en der Pupille unabhängiges Anpassungsvermögen
r Verfasser gehört nicht zu diesen und kann daher
ı aus eigner Anschauung nicht verbürgen.

en Personen, insbesondere bei vorgerückten Jahren,
nnpunct im gelben Flecke oder selbst noch darüber
ass nahe Gegenstände keine deutliche Bilder auf der
vorbringen können. Es ist nun leicht zu sehen, wa-
Fehler, der Weitsichtigkeit, durch eine passend
Sammellinse, ein convexes Brillenglas abgeholfen
ı. Der entgegengesetzte Fehler, die Kurzsichtig-
ht, wenn die von entfernten Gegenständen ausgesen-
en ihre Vereinigungspuncte schon vor der Netzhaut
geeignete Zerstreuungslinse vor das Auge gehalten,
ie Convergenz der Strahlen, und bringt dadurch die
spuncte auf die Netzhaut.

ände welche über die deutliche Sehweite hinaus lie-
en gewöhnlich, auch in dem gesundesten Auge, keine
en Bilder; allein die Zerstreuungskreise sind, wie
kt wurde, von geringem Umfange und dabei gewöhn-
wach. Sie bringen daher keinen Schaden. Stammt
icht von sehr glänzenden Lichtquellen ab, so wird be-
h der Einfluss der Zerstreuungskreise fühlbarer. Von

lanen.

Das Auge vermag die von einem beliebigen Licht
gehenden Strahlen, auch bei der besten Accommodat
scheinlich niemals absolut in einem mathematischen
sammeln. Daraus folgt dann von selbst, warum die
Sehens in allen Fällen begränzt ist. Erfahrungsmäss
sere Fähigkeit, die Gestalt eines Körpers zu untersch
wenn uns derselbe, gleichgültig in welcher Entfern
einem Sehwinkel von weniger als ½ Minute ersch
gens können Gegenstände noch unter viel kleinerer
winkel gesehen werden. Dies hängt von dem Glanze
tes ab.

Lebhafte Lichteinwirkungen, die längere Zeit dauerten,
Auge gegen gleichartige aber schwächere Eindrücke abzustumpf
es darum seine Empfänglichkeit gegen andere Lichteindrücke v
man z. B. eine glänzend weisse Fläche, auf welche ein schwarz
getragen ist, einige Zeit scharf an, und wendet dann das Au
dunkle Wand, so prägt sich auf derselben Stelle der Netzhaut
Fläche mit weissem Kreuze aus. Hat man längere Zeit eine
von lebhafter Färbung angesehen und richtet dann das Aug
weisse Wolke oder ein weisses Papier, so glaubt man darau
Scheibe zu erblicken. Weil nämlich das Auge gegen die grüne
stumpft war, so erhält ihre Complementärfarbe* zu Weiss
wicht.

Eine andere Gattung subjectiver Farbenerscheinungen bild
nannten Contrastfarben. Schneidet man von ein und de
nen Papiere drei Stücke ab, legt dann das eine auf eine roth
andere auf eine blaue, das dritte auf eine gelbe, so macht
den Eindruck seiner natürlichen Färbung, das zweite scheint
Zusatz von gelb, das dritte einer Zusatz von blau erhalten z
jedem Streifen tritt nämlich derjenige Farbenton, durch welchen
der Umgebung unterscheidet, am lebhaftesten hervor. Aus dems
erhält Violett auf blauer Unterlage einen Stich ins Rothe; Ora
neigt sich zu gelb; grau auf schwarz erscheint weiss. Dahin
blauen Schatten, welche die roth-gelbe Kerzenflamme in der

ir übertragen jeden Lichteindruck sogleich nach Aussen, zu iner Quelle; hatte sich derselbe in beiden Augen an entspre-nden Stellen ausgeprägt, in beiden z. B. im gelben Flecke, er in beiden in demselben Abstande rechts oder links von der se, so wird uns die Richtung, in der wir seinen Ursprung auf-chen, aus beiden Augen nach demselben Puncte des Raumes hren. Beide Eindrücke, wenn sie an und für sich gleichartig aren, müssen sich daher zu einem gemeinschaftlichen er-nzen.

In der That kann man sich leicht durch den Versuch über-gen, dass das Einfachsehen wesentlich auf der Bedingung be-ht, dass gleichartige Eindrücke von entsprechenden Stellen ider Licht-Empfindungsorgane zum Bewusstsein kommen. Denn nn man die Sache so anordnet, dass das Bild eines Gegen-ndes in beiden Augen an solchen Stellen der Netzhaut zum rschein kommt, die einander nicht entsprechen, so sieht man ppelt.

Man halte z. B. die beiden Zeigefinger in ungleichen Abstän-n vor die Augen, richte aber den Blick nur auf den einen, man ird den andern doppelt erblicken. Denn indem man die Sehaxen f den einen, es sei der Nähere, richtet, erscheint das Bild des ferneren im linken Auge rechts, im rechten links von der Axe; ide Eindrücke, obschon gleichartig, lassen sich dessen un-achtet nicht zu einem einzigen ergänzen, weil sie nicht an ent-rechenden Stellen der Netzhaut aufgetreten waren. Wenn die gen auf einem Puncte haften, also die beiden Sehaxen sich in nselben durchkreuzen, sollte man eigentlich alle übrigen Ge-nstände doppelt sehen. In der Regel kommen aber diese dop-ten Bilder nicht zum Bewusstsein, theils weil man sie weniger achtet, theils weil sie ausserhalb des gelben Flecks, also an llen entstehen, an welchen deutliche Bilder gar nicht mehr zu nde kommen, theils endlich auch, weil das gebildete Urtheil e grosse Gewalt über die direkten Ergebnisse der sinnlichen hrnehmungen ausübt, so dass Bilder, welche, wie wir aus ahrung wissen, demselben Gegenstande angehören, wenn e scheinbaren Stellen im Raume nicht so weit auseinander gen, in unserem Bewusstsein allmählig in einander über-hen.

Kleine Körper in der deutlichen Sehweite geben, weil beide haxen aus merklich verschiedenen Stellen auf sie gerichtet sind, in iden Augen ungleiche Bilder, welche, indem sie sich in unserem wusstsein in einander verweben, die drei Dimensionen der rperform nur um so bestimmter hervortreten lassen. Auf diese genthümlichkeit gründet sich das von Wheatstone erfundene ereoscop. Man kann mit dieser Geräthschaft zeigen, dass

deutlichen Sehweite noch wahrgenommen werden zu k
Auge näher rückt, so vergrössert man zwar ihren Seh
gewinnt zugleich an Licht; aber die Bilder fallen jetz
Netzhaut. Durch eine Convexlinse von hinlänglich
Kraft, die man nahe vor das Auge, den einfallenden S
gegenhält, lässt sich das Bild auf die Netzhaut zurück
dadurch sichtbar machen; oder wenn es vorher sch
war, so erblickt man es jetzt in schärferen Umrisse
grössert. Jede Sammellinse, zu diesem Zwecke gefa
ein einfaches Mikroscop oder auch eine Loupe
ihre Brennweite, also je stärker ihr Ablenkungsvermö
näher kann man den Gegenstand vor das Auge bringe
mehr erscheint er vergrössert. Damit er aber zugleich
wie möglich gesehen werden könne, muss er in eine
gebracht werden, dass die in der Linse gebrochnen S
der deutlichen Sehweite herzukommen scheinen.

Es sei *o* (Fig. 292) der optische Mittelpunct des A
Linse, *ab* der Gegenstand, in eine solche Entfernung

Fig. 292.

und Linse gebracht, dass die von ihm ausgehende
von einem grösseren Gegenstande *AB* aus der deu
weite herzukommen scheinen. In Folge dieser Ri

t der deutlichen Sehweite (D), *bm* nahe der Brennweite (p) Linse. Die lineare Vergrösserung entspricht daher dem Quotien $\frac{D}{p}$, der deutlichen Sehweite durch die Brennweite.

Bei der Sehweite von 8 Zoll wird z. B. eine Loupe von 4 ien Brennweite eine Vergrösserung bis zum $\left(\frac{8.12}{4} = 24\right)$ andzwanzigfachen gewähren können, wenn das Glas sehr e vor das Auge gehalten wird. Ein Kurzsichtiger, dessen nweite nur 4 Zoll beträgt, wird mit derselben Linse nur die te der Vergrösserung erhalten.

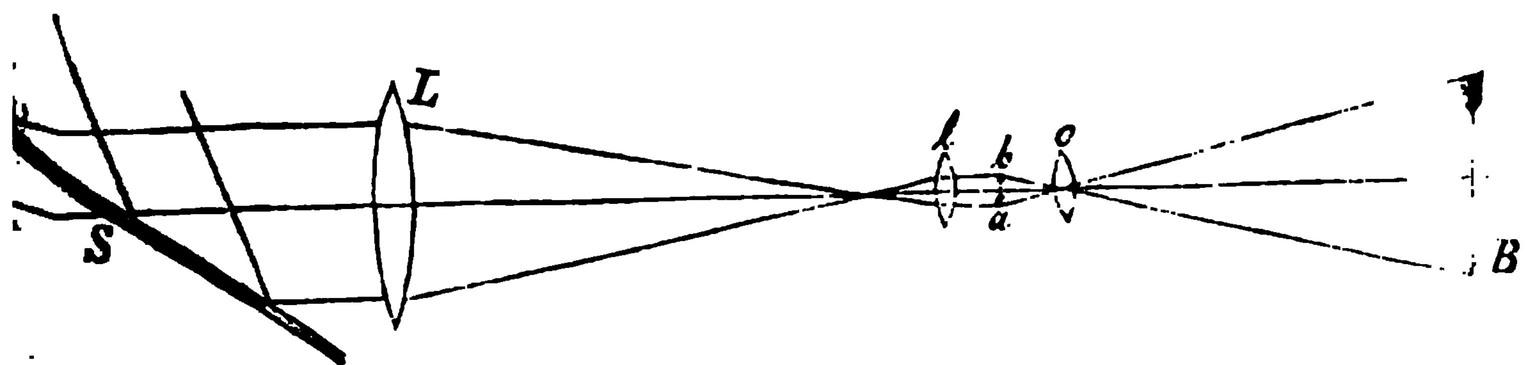
Das einfache Mikroscop kann auch aus zwei und mehreren sen gebildet sein, die dann in derselben Fassung nahe hinter ander stehen. Sie sind wenig gekrümmt, vertreten aber zusammengenommen die Stelle einer sehr convexen, also stark vergrössernden Linse. Man verschafft sich auf diese Weise ein grösses Gesichtsfeld, ohne in gleichem Grade wie bei einer einzigen vexlinse von gleicher vergrössernder Kraft durch die spärische weichung belästigt zu werden (565). Mehr als drei oder vier sen wendet man nicht leicht zusammen an.

Wenn eine Loupe auf beiden Seiten ungleiche Krümmungen , so wendet man die schwächere gegen das Object.

570. Das Sonnenmikroscop und Lampenmikroscop. ndet sich ein kleiner Gegenstand jenseits des Brennpunctes r Sammellinse, so kann er bei hinreichender Beleuchtung n vergrössertes Bild auf einen weissen Schirm auf der andern te der Linse werfen.

Als Lichtquelle benutzt man die Sonnenstrahlen, welche, wie Fig. 293 angedeutet ist, mittelst eines Spiegels ausserhalb des

Fig. 293.



unkelten Zimmers aufgefangen und dann mit Hülfe der Linsen L l auf das Object *ab* geleitet werden. Anstatt der Sonne kann auch Lampenlicht oder besser das Licht eines in der Wasser-

um so weiter kann man den Schirm fortrücken. Ab
mindert sich die Helligkeit des Bildes, umgekehrt w
der linearen Vergrösserung.

Die Zauberlaterne (laterna magica) ist ein
mikroscop, bestimmt, kleine Gemälde auf Glas in se
tem Maassstabe auf einer weissen Fläche darzustelle

521. Das zusammengesetzte Mikrosc
als eine Verbindung des Sonnenmikroscops mit
Mikroscop ansehen. Das durch eine Sammellinse
das Objectivglas, hervorgebrachte schon sehr verg

Fig. 294.

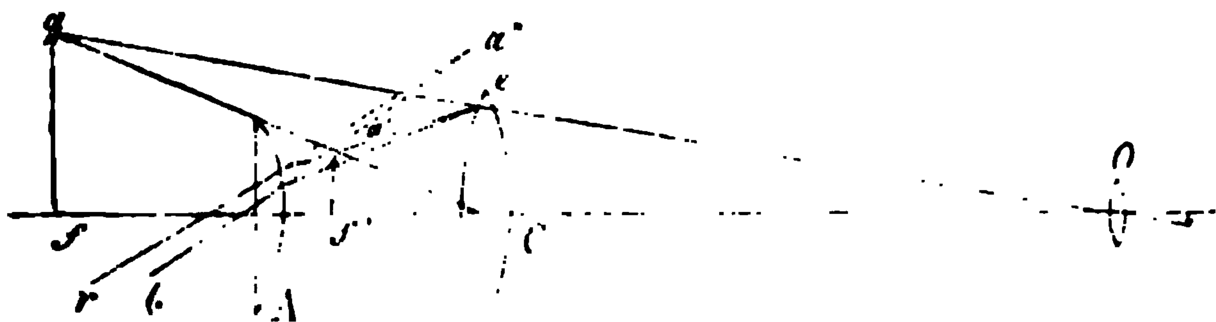


liche Bild (b) eines stark beleuchteten Objects (a),
zweiten Linse (B), dem Ocularglase, in die
weite (nach c) geworfen und so in neuer Verg
trachtet. Die erste Vergrösserung ist $\frac{Ab}{Aa}$, die z
die ganze Vergrösserung also beträgt $\frac{Ab \times Bc}{Aa \times Bb}$
Aa und Bb unterscheiden sich wenig von den Bre
der Linsen; Bc ist die deutliche Sehweite und A

r enge Gränzen eingeschlossen, da eine grosse Länge den rauch erschwert. Bei gleicher Länge des Mikroscops kann seine vergrössernde Kraft dadurch vermehren, dass man sen von kürzerer Brennweite anwendet; und dieses Mittel wird ptsächlich benutzt.

Als Objectiv dient eine oder je nach dem Bedürfnisse der grösserung auch mehrere in derselben Fassung verbundene romatische Linsen. Das Ocular ist gewöhnlich nicht aus nglas und Flintglas zusammengesetzt, sondern besteht aus igentlichen Ocularlinse in Verbindung mit einem sogenannten ectivglase. Letzteres erhält eine solche Stellung, dass es urch das Objectiv *O* (Fig. 295) gegangnen Strahlen auffängt, or sich dieselben zu dem Bilde *af* vereinigen konnten. In Folge

Fig. 295.



r hierdurch vermehrten Convergenz der Strahlen, wird das Bild der Stelle *a'f'*, also in geringerem Abstande von dem Objectivse erzeugt. Die auf die Collectivlinse fallenden Strahlen, weil durch das achromatische Objectiv gegangen waren, sind farfrei. In der Linse *C* entsteht aber wieder Farbenzerstreuung. von dem bei *e* einfallenden Strahle *Oe* wird der blaue Theil er gebrochen, als der rothe. Ersterer trifft aber eben dessdas Ocular *A* an einer der Mitte näher liegenden Stelle, und wird m in diesem weniger gebrochen, als der dem Rande näher allende rothe Strahl. Bei passender Wahl und Stellung der sen *C* und *A* lässt es sich daher erreichen, dass der rothe und e Strahl in solchen Richtungen ausfallen, wie wenn sie unlbar von einem und demselben Puncte (*a''*) herkämen. D. h. rgänzen sich zu farblosem Lichte. Das Ocular *A* ist gewöhneine planconvexe Linse von nicht sehr starker Krümmung, n ebne Fläche dem Auge zugewendet ist. Die sphärische weichung ist bei dieser Anordnung nicht sehr bedeutend und überdiess durch die Fassung, welche einen grossen Theil Ocularoberfläche bedeckt, ganz unschädlich gemacht.

Zum Gebrauche pflegt man das Mikroscop senkrecht zu stellen. Die ke Beleuchtung schafft man durch einen kleinen Hohlspiegel der unter Objecttische angebracht ist und jede Drehung gestattet. Er wird so llt, dass er das weisse Licht der Wolken durch Reflexion senkrecht rts wirft. Dieses Mittel ist natürlich nur bei durchsichtigen Objecten ndbar. Um undurchsichtige beleuchten zu können, muss noch ein zwei-

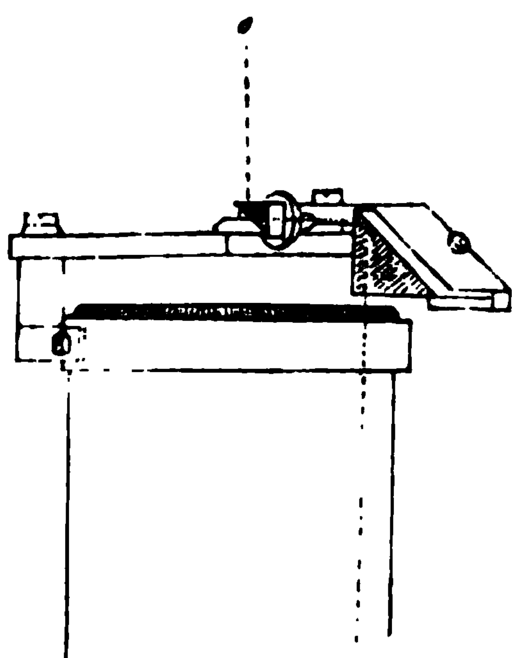
ter in der Mitte durchbrochener Hohlspiegel über dem Objecte
werden, oder wenn hierzu der Platz fehlt, leitet man einen Bü
eine Sammellinse concentrirter Lichtstrahlen von der Seite he
Object.

Man verlangt von einem guten Mikroscope, dass es mit st
grösserung doch zugleich ein möglichst, grosses Gesichtsfeld, Hel
Schärfe des Bildes verbinde. Eine befriedigende Vereinigung dies
zum Theil widerstrebenden Bedingungen, gehört zu den schwieri
gaben des praktischen Mechanikers, deren Lösung man hauptsächli
hofer, Plössl in Wien und Amici in Modena zu verdanken h

Ein sehr gutes Hülfsmittel, den Werth eines Mikroscops zu
währen feine Theilungen auf Glas. Der Mechaniker Nobert in
hat zu diesem Zwecke Linien in 10 Gruppen dicht hintereinand
selben Glasplatte aufgetragen, von solcher Feinheit, dass in
Gruppe 1000 und in der zehnten 4000 auf die Länge einer Linie geh
Schon die Linien der ersten Gruppe lassen sich nur bei ziemli
Vergrösserung unterscheiden. Je mehr Gruppen mit einem Mikro
lösbar sind, um so bedeutender ist seine Schärfe und vergrösse

Um die absolute vergrössernde Kraft zu messen, wird ein
Theilung auf Glas als Object be
ihr vergrössertes Bild mittelst d
lucida auf einen in der deutliche
aufgestellten, am besten auf wei
aufgetragenen, guten Massstab gew
sehr einfach eingerichtete, zu dies
brauchbare camera lucida, welch
jedem Mikroscop angebracht wei
ist in Fig. 296 abgebildet. Sie
zwei rechtwinklich geschliffenen
von welchen das kleinere beim
unmittelbar über dem Oculare,
Seite der Axe schwebt, das grö
seitwärts vom Rohre des Mikro
dem Massstabe hängt. Die von
aus der deutlichen Sehweite kommen
len, in der Hinterfläche des grosse
zum erstenmal reflectirt, gelangen
zweiten Reflexion im kleinen Prisma zum Auge, und bewirken
das vergrösserte Bild und das des Massstabs auf der Netz
decken.

Fig. 296.



Es gibt Mikroscope welche eine 1000fache und selbst 1700
grösserung zulassen. Bei der wirklichen Benutzung geht man
die 300fache. Um die lineare Ausdehnung kleiner Objecte zu m
man mehrere Hülfsmittel. Eins der einfachsten besteht darin, ein G
meter (eine feine Theilung auf Glas, z. B. 50 Theilstriche auf ei
ter) in den Brennpunct des Oculars zu setzen; zu welchem Zwec
Mikroscopen von Plössl die nöthige Vorkehrung getroffen ist. Ma
dann das auf dem Object-Tische befindliche, durch die ganze
Mikroscops vergrösserte Object zwischen einer Anzahl Theilstrich
durch die Ocularlinse vergrössert gesehenen Masses eingegränzt.
nun zuvor ein zweites Glasmikrometer von bekannter Theilung an
des Objects gebracht, und das Verhältniss beider Theilungen in
grösserung verglichen, so lässt sich danach leicht die Grösse a
Jecto beurtheilen.

Gesetzt beide Mikrometer haben einerlei Theilung, und unter d
scope gesehen, fallen 30 Theilstriche des oberen je in den Zwi

zwei Theilstrichen des unteren, so würde man dadurch erfahren, dass bjectivlinse allein eine 30malige Vergrösserung bewirkt.

Feinere Messungen als nach der beschriebenen Methode, dürften mittelst Schraubenmikrometers zu erreichen sein, welches neuerdings bei den scopen von Kellner so angebracht ist, dass es in der Brennweite culars einen wagerecht gespannten Spinnefaden mit sich selbst parallel chieben kann.

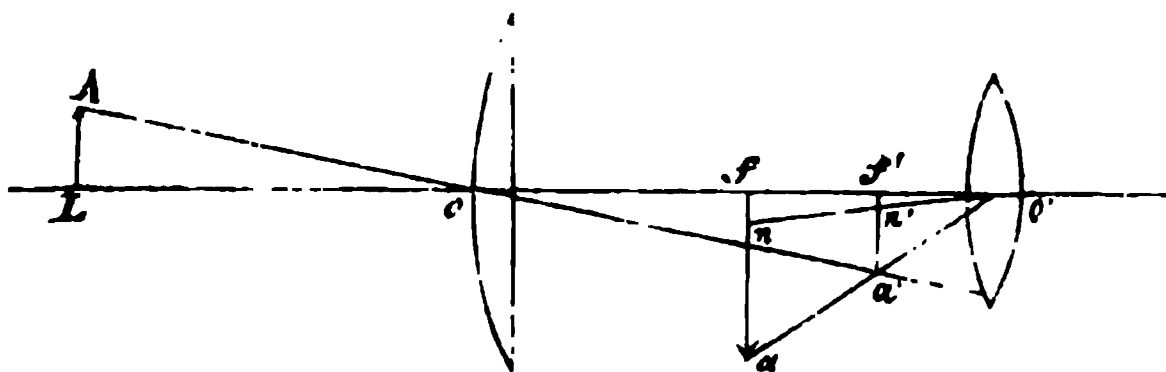
Ein ebenfalls recht zweckmässiges Verfahren hat Dr. Welker in ührung gebracht. (Henle und Pfeufer Zeitschr. X. 1 und 221.)

Vorzügliche Mikroscope bezieht man gegenwärtig von Plössl in Wien, lek in Berlin, Oberhäuser in Paris. Auch Kellner in Wetzlar, be- t durch seine vortrefflichen achromatischen Oculare, verfertigt seit Mikroscope von ausgezeichneter Güte.

672. Das Fernrohr (Astronomische Fernrohr). — Weit gene Gegenstände, von welchen Licht auf eine Sammellinse , erzeugen hinter derselben, in der Nähe des Brennpunctes, etwas weiter hinaus, verkleinerte und verkehrte Bilder. In camera obscura werden diese Bilder auf eine weisse Wand orfen und unmittelbar betrachtet. Gehen aber die durch die vexlinse gesammelten Strahlen durch ein cylindrisches Rohr bringt man in der Nähe der Stelle, wo das verkleinerte Bild teht, eine Loupe an, so dass das Bild innerhalb ihrer Brenn- e zu liegen kommt und folglich durch die Loupe wieder ver- sert und in der deutlichen Sehweite erblickt werden kann, so lt man das Fernrohr in der ursprünglichen Gestalt, welche selben von seinem Erfinder, Kepler, gegeben worden . —

Das Fernrohr besteht also, gleich dem Mikroscope, wesent- aus zwei Convexlinsen, von welchen die eine als Objectiv, die re als Ocular dient, und deren optische Axen genau in der- n geraden Linie zusammenfallen.

Fig. 297.



Der entfernte Gegenstand AL (Fig. 297) erzeugt hinter der e o das Bild $f'a'$, welches durch die zweite Linse o' betrach- bei fa zu liegen scheint. Der Punct f' liegt von dem Ob- rglase nur ein geringes weiter als sein Brennpunct; dem rglase liegt er um ein weniges näher als dessen Brenn- t. Der Abstand oo' beider Linsen ist daher fast genau gleich umme beider Brennweiten.

Durch das Fernrohr werden die Gegenstände genähert und

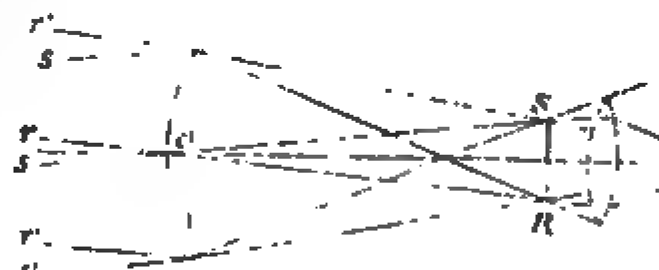
$$\frac{t'''}{f\,a} = \frac{t''}{f'a'} = \frac{t'}{f'e},$$

das gesuchte Grössenverhältniss beider Bilder.

Da nun $f'e$ als Brennweite des Objectivs, $f'e'$ des Oculars genommen werden kann, so sieht n lineare Vergrösserung dem Quotienten der Brenn jectivs, dividirt durch diejenige des Oculars nahe g

Die Anforderungen an ein gutes Fernrohr sii Vergrösserung: Deutlichkeit der Bilder, Helligkeit lichst grosses Gesichtsfeld. Ehe man mit den Mitteln die Farbenzerstreuung zu beseitigen, wusste ma und zugleich möglichst farbenfreie Vergrösserung n erzielen, dass man Objectivlinsen von geringer Kri sehr grosser Brennweite anwendete. Das Rohr mus bedeutende Länge erhalten. Zum Transport war es bar und in der Handhabung höchst unbequem. Dur dung achromatischer Objective ist es gelungen, farb tivbilder zu erhalten, die nun auch mit convexere trachtet werden dürfen. Dadurch ist es möglic solchen Instrumenten, die ihrer Bestimmung nach müssen, eine viel geringere Länge zu geben und d friedigender Deutlichkeit ziemlich bedeutende Ve hervorzubringen.

Fig. 298.



rch eine solche Richtung, als kämen sie aus der deutlichen Sehmite her. Die vortheilhafteste Stellung für das Auge, um sie in glichst grosser Menge aufzunehmen, ist der Punct A, der Kreungspunct der Hauptstrahlen. Denn in dieser Gegend der Axe ffen Strahlen aus dem ganzen Umfange des Sehfeldes zummen.

Die Grösse des Sehfeldes ist durch die Oeffnung des Oculars schränkt. Sollen alle von einem entfernten Gegenstande auf das jectiv gerichteten Strahlen das Ocular erreichen, so darf (wie Blick auf Fig. 298 leicht verständlich macht) das Bild die Ausnung *RS* nicht überschreiten. Bedeckt man einen Theil der ularlinse, so dass die am Rande einfallenden Strahlenbündel rückgehalten werden, so vermindert sich eben dadurch das hfeld. Je convexer die Linse ist, je mehr sie vergrössert, um mehr muss sie gedeckt werden, um die chromatische und sphäiche Abweichung unschädlich zu machen, um so kleiner wird her das Gesichtsfeld.

Die Farbenzerstreuung, welche durch das Ocular selbst herigeführt wird, pflegt man dadurch zu vermeiden, dass man demben in ganz ähnlicher Art wie bei den Mikroscopen eine Collecrlinse beigibt. Das in dieser Weise zusammengesetzte Ocular bt nicht nur farbenfreie Bilder, sondern vergrössert auch das Gechtsfeld. Es sei *af* (Fig. 299) das erste Fernrohrbild; *ras* der f den Punct *a* gerichtete Lichtbündel. Alle diese Strahlen würm für das Ocular verloren gegangen sein. Indem sie aber, noch e sie sich vereinigen konnten, von der Linse *c* aufgefangen

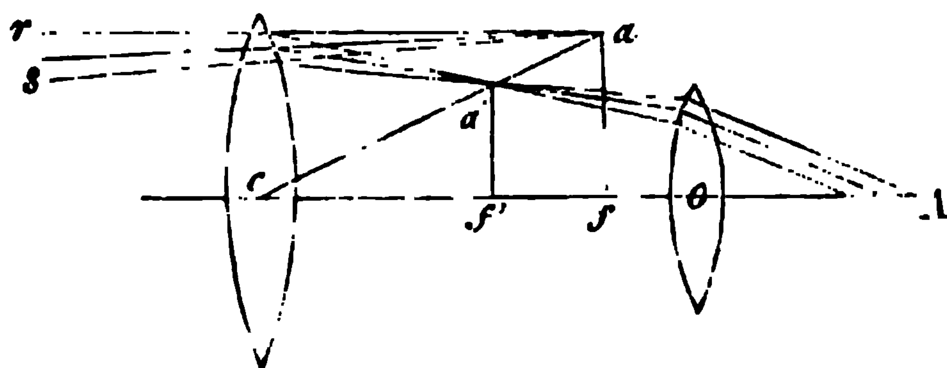


Fig. 299.

nd gegen *a'* gelenkt wurden, treffen sie die Linse *o*, und können zum Auge gelangen.

Seit Kurzem ist es dem Mechaniker Kellner in Wetzlar gengen, ein ungefähr gleich grosses Gesichtsfeld, und besonders gen den Rand hin schärfere Bilder mit Hülfe von Doppellinsen s Flintglas und Crownglas zu erreichen.

Die Stelle *SR* (Fig. 298), an welcher das Bild entsteht, das rch die Ocularlinse betrachtet werden soll, ist im Innern des hrs durch eine Verengerung angezeigt, die gerade nur so viel ielraum lässt, als für den Umfang des Bildes nothwendig ist. r sind in dem astronomischen Fernrohr zwei Spinnenfäden

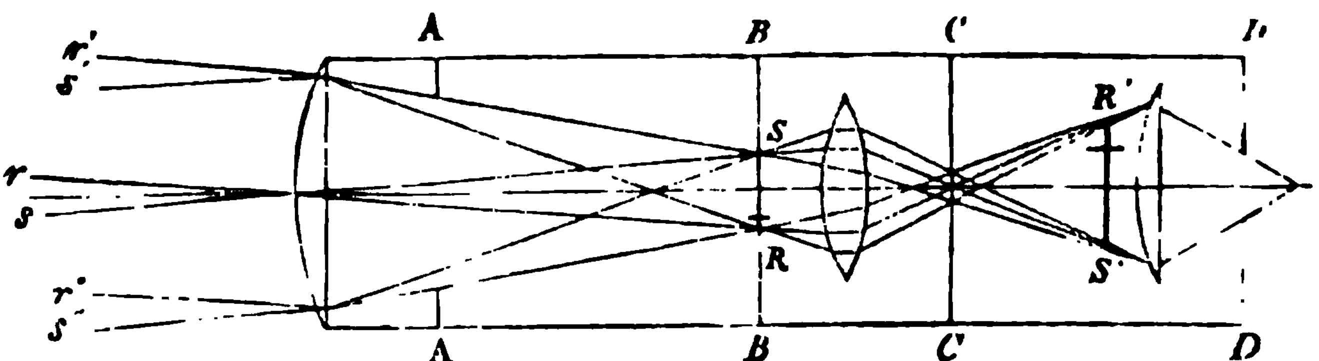
ausgespannt, die sich rechtwinklich durchkreuzen und dal Fadenkreuz genannt werden. Das Auge erblickt sie zugk dem Bilde in der deutlichen Sehweite, so dass sie dien nen, Aenderungen in der Lage des Bildes wahrzunehmen.

Die vergrössernde Kraft eines Fernrohrs lässt sich bestimmen, dass man es auf einen entfernten Massstab und die so vergrössert gesehene Theilung mit einer zwei lichen vergleicht, die man in der deutlichen Sehweite mit dern Auge betrachtet.

Von dem astronomischen Fernrohr (Telescop) untei sich das **Erdfernrohr** dadurch, dass man durch das Gegenstände in ihrer natürlichen Stellung erblickt. Man diess durch Einschaltung einer dritten Linse oder eine Linsensystems, welches so angebracht wird, dass es mittelst des Objectivglases erzeugte verkehrte Bild wie dreht.

Um einen ganz deutlichen Begriff von der Einrich Erdfernrohrs zu erhalten, denke man sich, dass das e Objectivglas - Bild *RS* (Fig. 300) nicht durch ein e sondern durch ein zusammengesetztes Mikroscop l werde.

Fig. 300.

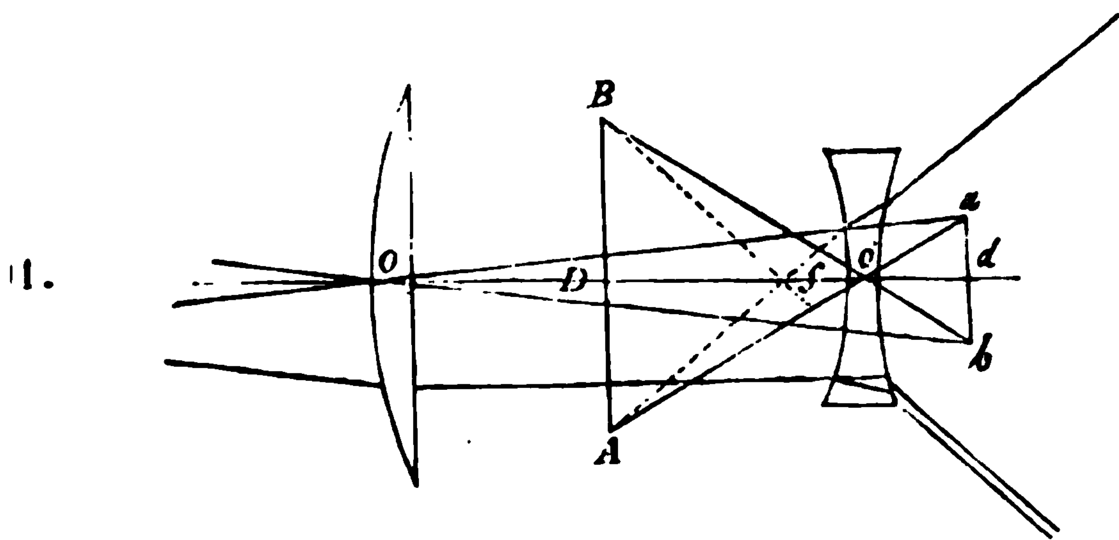


Es ist begreiflich, dass die verschiedenen Einflüsse die Deutlichkeit beeinträchtigen, mit der Zahl der angev Linsensysteme zunehmen müssen. Man sucht daher d strahlen und überhaupt alles störende Licht mit Hülfe vo **dungen** abzuhalten, welche bei den dioptrischen Instr denselben Dienst leisten, wie die Iris bei dem menschlich Die Hauptblendung des Erdfernrohrs befindet sich in *CC*. Es ist eine durchbrochne Scheibe an der Durchkre stelle der Axenstrahlen, welche, wie man sieht, gerade n reichende Oeffnung hat, um alles brauchbare Licht, das in einem sehr engen Raume zusammenzieht, durchzulass dere durchbrochne Scheiben, wie *AA*, *BB*, *DD* wirken licher Weise. Um schädliche Reflexe im Innern des Rohrs meiden, ist es geschwärzt.

573. **Galileische oder Holländische Fe**

das Erdfernrohr, aufrecht stehende Bilder. Die von einem
ı Gegenstande ausgehenden und in der Objectivlinse ge-
Strahlen werden, noch ehe sie sich in *ab* (Fig. 301) zu
de vereinigen konnten, von einer Zerstreuungslinse auf-
. Dadurch aufs Neue gebrochen werden sie, wenn der
der Linse vom Puncte *d* etwas mehr beträgt als ihre
te, divergirend gemacht und so geleitet, als kämen sie
leutlichen Sehweite. Sie gewähren dann dem vor der
indlichen Auge den Eindruck eines aufrecht stehenden,
rten Bildes.

ı1.



uptstrahlen *oa* und *ob* erhalten durch die Ablenkung in der
ıen scheinbaren Durchkreuzungspunct *f*, dessen Abstand von der
s weniger als ihre Brennweite beträgt und aus der Gleichung
$\frac{p \cdot oo'}{oo' + p}$ (No. 563) gefunden wird. Sie erhalten also eine solche
ls bewegten sie sich hinter der Linse in den Linien *Af* und *Bf*.
ılärt sich die Umkehrung des Bildes *ab*. Um die Abstände *o'd*
u bestimmen, bemerke man dass die auf die Linse treffenden
var ihrer Richtung nach dem Bilde *ab* angehören, dass aber der
Bewegung der entgegengesetzte ist. Will man sich daher den
d als Ausgangspunct der Strahlen vorstellen, welche auf der
: der Linse *o'* in der Richtung gegen *d* einfallen, so muss man
ichung $f = -\frac{p\,l}{l + p}$ den Werth $l = o'd$ negativ setzen. Es

$$f = o'D = -\frac{p \cdot o'd}{o'd - p}.$$

s geht hervor, dass das Bild im Abstande *o'D* nur so lange nega-
scheinbar bleibt, als *o'd* an Grösse die Brennweite *p* der Linse
Der Abstand *oo'* beider Linsen ist also nahe gleich dem Unter-
er Brennweiten, jedoch immer etwas geringer.

;genstand erscheint dem freien Auge unter dem Sehwinkel *aob*,
ınter dem Sehwinkel *ao'b*. Die Vergrösserung ist daher annä-
:h Verhältniss $\frac{od}{o'd}$, nämlich die Brennweite des Objectivs divi-
die des Oculars, ausgedrückt.

alileische Fernrohr scheint von einem holländischen Optiker um
608 erfunden worden zu sein. Bald darauf hat es Galilei zur
ıg der Himmelskörper benutzt. Gegenwärtig wird es hauptsäch-
eaterperspectiv angewendet. Bei den bedeutenderen Vergrösse-

rungen nimmt sein Sehfeld ungemein ab, weil das Auge der gün Stellung, nämlich dem Kreuzungspuncte *f* der Hauptstrahlen zu weit entrü

574. Das Spiegeltelescop oder Katoptrische Frohr gründet sich auf die Eigenschaft sphärischer Hohlsp in der Nähe ihres Brennpunctes, das Bild entfernt liegend genstände hervorzubringen. Dieses Bild wird dann von de oder bei sehr grossen Spiegeln auch von Vorne mit eine fachen Mikroscope betrachtet. Eine grosse Berühmtheit h Herschel'sche Spiegeltelescop erlangt, dessen Spiegel Fuss Brennweite, 4 Fuss Durchmesser hat. Da die Spieg farblos sind, so waren die Spiegeltelescope höchst wichti strumente, so lange man die Kunst nicht verstand, dioptris lescope mit achromatischen Objectiven von grosser Oeffn verfertigen. Gegenwärtig werden sie aber wenig mehr geb

Von dem Lichte.

Zweite Abtheilung.

575. Die Erscheinungen der Fortpflanzung des Licht Reflexion, Brechung und Farbenzerstreuung, deren Ges dem vorhergehenden Abschnitte vorgetragen worden sin weisen aufs bestimmteste, dass die Lichtwirkungen, gleich der Wärme, eines materiellen Trägers von äusserster Feinh grosser elastischer Kraft bedürfen. Hinsichtlich der Natur Mittels, welches die Uebertragung der Lichteindrücke auf di teste Entfernung hin und mit einer Geschwindigkeit gestatt gen welche jede irdische Abmessung nur als kleiner Bru erscheint, herrschte lange Zeit eine Meinungsverschiedenh ter den Physikern. Es entstanden zwei Hypothesen, welc Grundlage der Lichterscheinungen aufgestellt, eine mat tische Entwicklung zulassen.

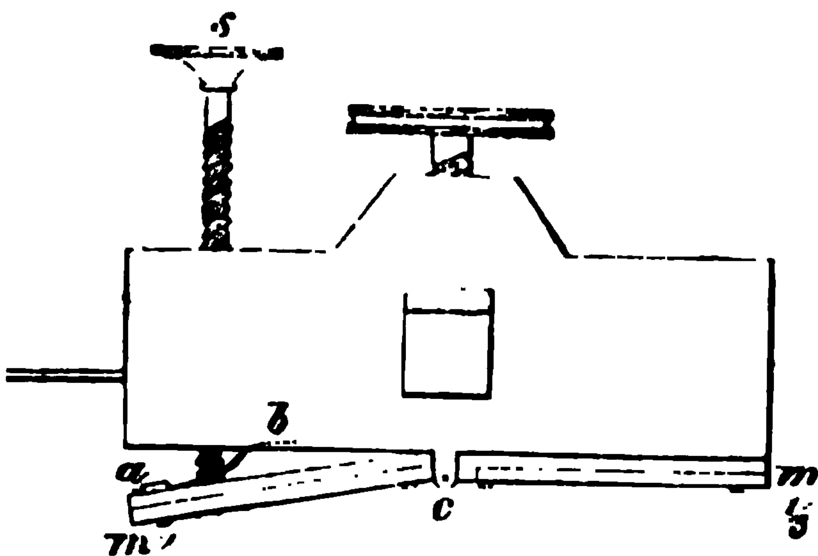
Nach der einen, der Emanationstheorie, gibt es eigenthümlichen Lichtstoff, dessen Theilchen gleich dem Wärmestoffs unfassbar, unwägbar und in hohem Grade el sind und welche von jedem leuchtenden Körper durch eine ausserordentlich grosse, übrigens hinsichtlich des Ursprung näher nachweisbare Kraft nach allen Richtungen fortgeschl werden. Die Annahme eines Lichtstoffes von dieser Besch heit, welcher Newton Geltung verschafft hat, genügt zur rung aller bisher beschriebenen Lichterscheinungen. Von andern aber, zu deren Betrachtung wir jetzt übergehen w gibt sie nicht in gleich befriedigender Weise Rechenschaf

ast sie ganz unerklärt. Sie hat daher in der neueren egeben werden müssen*).

ı der andern Hypothese, der Undulationstheorie oder onstheorie (Wellentheorie) wird das Licht ähnder Schall durch Schwingungen erzeugt und seine Fort- geschieht durch Wellenbewegung in einem äusserst d elastischen Fluidum, dem Aether, welcher den ganraum ausfüllt und die Poren aller Körper durchdringt. Die nstheorie ist zuerst von Huyghens entwickelt und on Euler vertheidigt worden. Sie blieb indessen lange achtet, bis sie in den ersten Jahrzehnten dieses Jahr- durch die Forschungen Young's und hauptsächlich 's weiter ausgebildet wurde. Sie gibt in ihrer gegen- Ausbildung nicht nur von den meisten und darunter vieinbar verwickelten Lichterscheinungen eine einfache, un- ene Erklärung, sondern hat auch den Schlüssel zu zahlieuen Entdeckungen im Gebiete der Optik geliefert.

Interferenz des Lichtes. — Den Ausgangspunct ren Entwickelung der Wellentheorie des Lichtes bildet würdige von Fresnel beobachtete Thatsache, dass zwei welche, von einem Lichtpuncte ausgegangen, nachdem sich lange Wege zurückgelegt haben, wieder in einem usammentreffen, sich in ihrer Wirkung daselbst aufzuhe- mit andern Worten: dass sie an dieser Stelle Dunkelheit hervor zu bringen vermögen. Man nennt diese Erscheinung die Interferenz des Lichtes. Fig. 302 zeigt die Einrichtung des Apparates, mit dessen Hülfe Fresnel dieselbe hervorbrachte. Zwei Spiegel mc und $m c'$ von schwarzem Glase, in Rahmen von starkem Messing gefasst, stossen

Fig. 302.

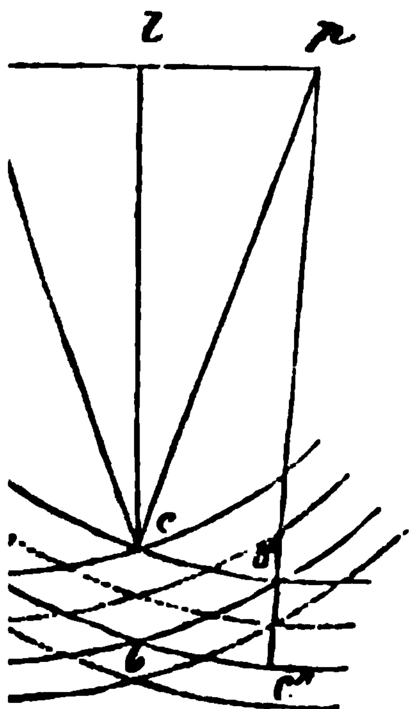


*) e ausführliche Darstellung der Newton'schen Lichttheorie findet wton's Optik; in Herschels Lehre vom Lichte, Ueber- n Schmidt S. 266 bis 296; so wie in Biots Lehrbuch der ntalphysik, deutsche Bearbeitung von Fechner.

von 180° nur wenig abweicht, gegen einander gen
telst ihres Trägers so gerichtet, dass die Kante c
werden von den wagerecht einfallenden Strahlen
punctes f (Fig. 1. Pl. VI) getroffen und werfen di
rück, als wenn sie von den Puncten p und p', w
der Spiegel-Bilder des leuchtenden Punctes f beze
gangen wären. Gesetzt ferner, es diene als Lichtq
tikale Lichtlinie, wie man sie erhält, wenn man hi
kalen Spalt im Laden eines dunkeln Zimmers ein
Linse aufstellt. Man lasse, um homogene Strahlen
das Licht etwa durch ein rothes Glas gehen, und s
sich die zurückgeworfenen Strahlenbüschel kreuze
Tafel auf, so erblickt man in der Mitte des beleu
einen hellen Streifen, der auf beiden Seiten von du
begränzt ist, auf welche dann wieder abwechse
dunkle Streifen in grösserer Anzahl folgen.

Diese Erscheinung, welche nach der Emanation
unerklärbar ist, wird sogleich verständlich, wenn
Lichtstrahlen als ein System von Wellen denkt, di
vorliegenden Falle in concentrischen Kreisen um di
p' verbreiten. Wenn in der Figur die ausgezogen
positiven, die punktirten die negativen Wellenhälf
entsprechend, z. B. den Wellenbergen und Well
Wasserwellen, so ist klar, dass in jedem Puncte
verstärktes Licht gesehen werden muss, da je zwe
zwei negative Wellenhälften sich in ihrer Wirkung
Dasselbe wird in allen Puncten der Linien a' b',
sein. Dagegen in allen Puncten der Linien r s, r' s
begegnen sich in jedem Augenblicke Wellen von ge
gesetzter Phase, was eine völlige Aufhebung des L

Fig. 303.



einer Lichtwelle nach der Formel $b''c'' = b'b'' \sin.\alpha$ berechnen, wenn man den Abstand $b'b''$ der ersten hellen Seitenfransen und den Winkel $2\alpha = bb'c = pcp'$ in dem Dreiecke cpp' gemessen hat. Fresnel hat, um den Abstand $b'b''$ genau zu ermitteln, eine Loupe so in den Weg der zurückgeworfenen Strahlenbüschel gestellt, dass ihr Brennraum an die Stelle fiel, wo zuvor die weisse Tafel stand. Hier war zugleich ein feiner Verticalfaden so ausgespannt, dass er mit der Loupe durch eine Mikrometerschraube in horizontalem Sinne verschoben und die Verschiebung genau gemessen werden konnte. Bei Anwendung von homo-
ı Lichte aus verschiedenen Theilen des Spectrums er-
ich, dass die Fransen um so dichter zusammenrück-
je brechbarer das angewendete Licht war. Die Wellen-
ı des blauen Lichtes sind demnach kleiner, als die des
. Da man unter Wellenlänge den Weg zu verstehen
ım welchen sich die Bewegung während einer vollen
ngung eines oscillirenden Theilchens fortpflanzte, so ist
ırhältniss der Wellenlängen auch das der Oscillationsdauer
ıeilchen, welche verschiedenfarbiges Licht fortpflanzen; we-
ns unter der Voraussetzung, dass Lichtstrahlen aller Art
e Geschwindigkeit besitzen. Die Wellenlänge eines gewis-
then Strahles beträgt z. B. 0,00064 Millimeter, die eines vio-
Strahls 0,00040 Millimeter. Da das Licht in der Sekunde
geogr. Meilen, oder 41518 . 7420,7 . 1000 Millimeter durch-
so vollendet ein Aether-Theilchen, während es rothes Licht
anzt, etwa 480 Billionen, ein Theilchen, welches violettes
fortpflanzt, etwa 770 Billionen Schwingungen in der Se-
. Den äussersten Gränzen des Spectrums entsprechen die
ılängen von 0,00070 und 0,00035 Millimeter oder 440 Billio-
ıd 880 Billionen Schwingungen in der Sekunde. Dieses Ver-
ıs der äussersten Farbenstrahlen ist demnach dasjenige des
tons zur Oktave bei den Tonschwingungen.

in Blick auf Fig. 1. Pl. VI lehrt, dass alle Puncte der ersten
ln Räume, links und rechts von dem mittelsten Lichtstrei-
Vellen angehören, in welchen der Unterschied der Wege,
und p' an gerechnet, einer halben Wellenlänge gleich-
t. Ueberhaupt fallen die hellen Fransen an die Stellen, für
ɔ jener Gangunterschied eine gerade Anzahl halber
ılängen, d. i. eine beliebige Anzahl ganzer Wellenlängen be-
während die dunkeln Fransen den Puncten entsprechen, an

welchen der Unterschied der Wege eine ungerade halbe
länge ausmacht. Bei einer Franse der nämlichen Ordnung
ser Unterschied, in verschiedenen Abständen von den S
also auch von p und p', ein constanter. Die Stellen, in
man die Fransen in diesen verschiedenen Abständen antr
gen daher auf hyperbolischen Aesten und auch dies hat F
durch seine mikrometrischen Messungen bestätigt.

Der Abstand $b'b''$ zweier Fransen ist $= \frac{\lambda}{sin.\, \alpha}$, w
Wellenlänge bedeutet. Wenn alle Umstände sonst unv
bleiben und man den Winkel der beiden Spiegel immer
werden lässt, so wird damit α immer kleiner und die Br
Fransen nimmt folglich zu. Das beschränkte Feld, auf
die von beiden Spiegeln zurückgeworfenen Strahlen sich
wird dann nur von wenigen Fransen eingenommen. Ve
man dagegen den Winkel der Spiegel, so treten immer
feinere Fransen auf, bis sie endlich auch durch die Lo
mehr getrennt gesehen werden können.

Bei Anwendung von weissem, anstatt von homogene
decken sich zwar in der Mitte der centralen Franse die
lichen Farbenstrahlen, allein wegen der grösseren Breit
then Streifen sind die ersten dunkeln Linien nach Innen
säumt und auf der äusseren Seite bilden die der Mitte
liegenden hellen Linien der brechbareren Strahlen eine
Saum. Noch mehr sieht man die Farben bei den beiden f
Fransen auseinander treten. Indessen sind diese Säume
sehr stumpfem Winkel der Spiegel breit genug, um in d
zu fallen.

Statt der Fresnel'schen Spiegel kann man sich zur
lung der Interferenzerscheinung auch eines Doppelprisma
nen, welches von drei ebenen brechenden Flächen begr
deren zwei sich unter einem sehr stumpfen, von zwei
wenig verschiedenen, Winkel schneiden. Die Erscheinu
wie sie sich vor einem der schmalen Lichtlinie entgegeng
Doppelprisma zeigt, war bereits Newton bekannt.

577. Geradelinige Fortpflanzung und Be
des Lichtes. — So lange das Licht sich ungehindert ve
kann, und weder Zurückwerfung noch Brechung eintrit
man einen Lichtpunct immer in der Richtung der geraden
dungslinie mit dem Auge. Diese Erfahrung scheint auf den
Blick nicht mit der Annahme einer Verbreitung des Lichte
Wellen, in welchen jeder einzelne Punct wieder als ei
Wellenmittelpunct angesehen werden kann, zu harmoniren
Huyghens hatte diese Betrachtungsweise, wonach
schwingende Aethertheilchen als der Mittelpunct einer se

nentarwelle anzusehen ist, angewendet, indem er zugleich
inzigen solchen Welle keine merkliche Lichtwirkung zu-
, und diese nur da annahm, wo der Aether unter der Ein-
g sehr vieler solcher in Uebereinstimmung schwingender
tarwellen bewegt wird. Aus dieser Vorstellung folgt aber nicht
geradelinige Fortpflanzung des Lichtes bei ungehinderter
tung, sondern sie erklärt auch gewisse Abweichungen von
Gesetze; und gerade diese Abweichungen, die zahlreichen
eil so prachtvollen Farbenerscheinungen, welche in der
ler geometrischen Schattengränze auftreten, wenn dem
ng des Lichtes Hindernisse durch undurchsichtige Körper
Weg gestellt werden, bilden dadurch die überzeugendsten
e für das wirkliche Vorhandensein einer Wellenbewe-

nmt man an, dass sich von dem leuchtenden Puncte *C*
04), eine Welle *mfm'g* ausgebreitet hat, so hat man, um
adlinige Verbreitung von *C* nach *A* zu verstehen, von der
ntwirkung der kreisförmigen Welle auf den Punct *A* sich
schaft zu geben. Die Kreise *mb*, *nr*, *os*, *pt*, *ql* . . seien von *A* aus mit Halbmessern beschrieben, welche successive um die Länge einer halben Lichtwelle wachsen, so übertragen sich die Bewegungs-Zustände der Wellentheile *mr*, *rs*, *st*, *tl* . . in abwechselnd entgegengesetzter Phase nach *A*. Da nun die in *st* und *tl*, sowie die in den weiter zurückliegenden Wellentheilen bewegten Aether-Massen immer mehr sich der Gleichheit nähern, so vernichten sie ihre Einwirkung auf den Punct *A* gegenseitig. Nur die in der Nähe der geraden Verbindungslinie *CA* liegen-

Fig. 304.

llentheile, wie *mr*, enthalten ungleich mehr schwingende
z. B. *mr* mehr als der folgende Wellentheil *rs*, so dass
r, nach *A* gelangend, die Bewegung von *mr* nur zum Theil

aufheben kann. Ein Gleiches findet für die Wellentheile i
Nähe von m' statt; daher A nur in der Richtung $AmCm'$ w
mes Licht empfängt. Ist die Schwingungsgeschwindigkei
welcher die Bewegung von m, und nahezu auch von r, s,
in A ankommt $= v$, so ist die Intensität des von der vo
Halbwelle in A anlangenden Lichtes

$$J = 2v^2 (mr - rs + st - tl + ld - dh + \ldots$$

Der Werth der aufeinander folgenden Differenzen wird
ringem Abstand von der Linie CA sehr klein, die Wirku
merklich. Wenn man daher einen undurchsichtigen Schir
merklicher Breite in den Weg des Strahls CA stellt, so
kein Licht nach A zu dringen. Wird dagegen ein Draht vo
stens 1mm Dicke parallel mit der Lichtlinie und in einiger
nung vor derselben, mitten durch den einfallenden Stra
schel ausgespannt, und sein Schatten auf einer weissen
aufgefangen, so erscheint letzterer schmäler, als er nach
trischen Bestimmungen sein müsste. Im Innern desselben l
man schwach leuchtende Streifen, getrennt durch dunkle
und sogar in der Mitte des Schattens ist ein leuchtender
wahrnehmbar. Man nennt diese Erscheinung: **Beugun**
Lichtes.

Die helle Linie in der Mitte des Schattens entsteht d
dass die an den Rändern des Drahts vorüberfliessenden
auch in den Schatten eindringen und in der Mitte dessel
gleichen Phasen und noch in hinreichender Stärke ankom
eine bemerkbare Lichtwirkung erzeugen zu können. Di
len Fransen fallen an die Orte, welche sich bei der a
schen Summirung der Einwirkungen, aller rechts und lin
dem Drahte vorübergehenden Wellentheile eine gegenseiti
hebung ergibt. In der That, wird das auf der einen Se
Drahts vorübergehende Licht mittelst eines dunklen Schirm
zurückgehalten, so verschwinden die Streifen im Inne
Schattens, obschon doch nur die Hälfte des gebeugten
fortgenommen ward.

Anstatt das gebeugte Licht auf einer weissen Fläche
fangen, kann man es auch mit einer Loupe betrachten. De
wird dann durch ein Haar ersetzt. Man sieht auf diese Weis
eine grössere Anzahl heller und dunkler Fransen.

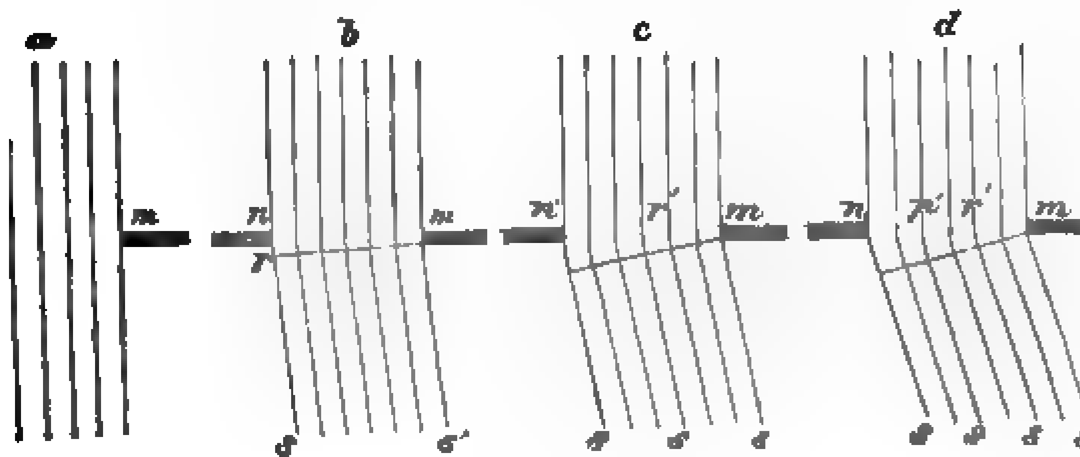
578. Erscheinungen von ähnlicher Art werden wahr
men, wenn Licht von einem Puncte oder einer Lichtlinie
hend, durch die feine Oeffnung eines undurchsichtigen S
in einen dunklen Raum eindringt. Gesetzt, das Licht sei ho
es komme von einer sehr schmalen verticalen Spalte und g
durch eine zweite in einigem Abstande dahinter befindlich
liche und ebenfalls vertikal gerichtete Spalte in den dunklen
Stellt man in diesem eine weisse Tafel rechtwinklig

ɜg des Lichtes, so bemerkt man ein mittleres helles Bild
ılte, jedoch breiter, als es die geometrische Schattengränze
nt. Rechts und links folgen dann, durch dunkle Zwischen-
getrennt, eine Anzahl schmälerer Bilder, in gleichem Ab-
und sämmtlich von gleicher Breite. Die Lichtstärke dieser
welche den Namen Beugungsspectra erhalten haben,
von der Mitte aus rasch ab. Je brechbarer das Licht ist, in
m man die Erscheinung sieht, desto enger rücken die Bil-
sammen. Die Abstände des nämlichen Seitenspectrums
und links, von einander oder von der Mitte, in rothem und
em Lichte betrachtet, verhalten sich, wie die Wellenlängen
Lichtgattungen.

theoretisch abzuleiten, wie gross an irgend einer Stelle der weis-
d die Lichtintensität sein muss, hat man die Gesammtwirkung aller
zu nehmen, welche von den verschiedenen Punkten der Spalte nach
elle hingehen. Je weiter man die Tafel von der Spalte entfernt,
eniger werden diese Strahlen gegen einander geneigt sein; sie wür-
mtlich parallel laufen, wenn die Tafel unendlich weit entfernt wäre.
ieser Fall kommt aber in Betracht, wenn man die Spalte unmittel-
ein für Fernsehen angepasstes Auge setzt; nur die parallel von den
denen Punkten der Spalte ausgehenden Strahlen kommen in einem
der Netzhaut zur Interferenz. Dasselbe gilt, wenn man den Schirm
Spalte vor das Objectivglas eines Fernrohrs bringt; zudem sieht
Erscheinung dann vergrössert und kann sie, wenn das Fernrohr mit
heilkreise verbunden ist, der Messung unterwerfen.

sei das Fernrohr auf eine entfernte erleuchtete Spalte gerichtet und
stellt, dass die Spalte scharf begrenzt erscheint. Ein undurchsich-
hirm werde vor das Objectivglas des Fernrohrs rechtwinklig gegen
des Instrumentes und den Weg des Lichtes angebracht; so dass
nur noch durch eine vertikale Spalte von geringer Breite in das
langen kann. $m\,n$ (Fig. 305) zeigt diese Spalte in vergrössertem

Fig. 305.



be. Betrachten wir nun jedes Aethertheilchen in dieser Spalte als
nct von Lichtwellen, oder was dasselbe ist, als Ausgangspunct
ahlen. Diejenigen dieser Strahlen, welche, wie in Fig. 305 a, paral-
der Axe des Instrumentes fortschreiten, schwingen in dem Puncte, in
n sie durch die brechende Kraft des Objectivs vereinigt werden, mit
Phase und summiren ihre Wirkung. Dies ist auch noch, wiewohl in

lenlänge gegen den mittleren Strahl $r's$ zurück ist, findet je
schen ms und $r's$ einen entsprechenden zwischen $r's$ und n
Wirkung vollkommen aufhebt, daher tritt in dieser Richtung
mum der Lichtstärke ein. In Fig. 305, d ist der Randstr
halbe Wellenlängen hinter ms zurück. Die Strahlen zwisch
finden zwischen $p's$ und $r's$ entsprechende, welche ihre Wi
men aufheben, und es bleiben nur die Strahlen zwischen r'
sam zurück. Nimmt man an, dass die kleinen Bewegungen
chen sich an der Vereinigungsstelle der Strahlen gerade sum
tensität des Lichtes aber dem Quadrate der Schwingungswe
ist, so sieht man ein, dass das erste seitliche Bild, zu we
ein Drittel aller durch die Spalte dringenden Oscillationen beit
neunmal schwächer erleuchtet ist, als die Stellen, welche
Richtung Fig. 305 b durch die Spalte gehenden Lichte getrof

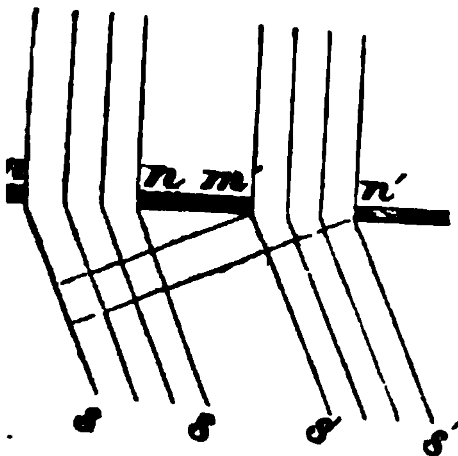
Bei einer Neigung α des parallelen Strahlenbüschels be
unterschied der Randstrahlen, wie man aus der Figur entnim
Die seitlichen Beugungsbilder erblickt man nach den Richtun
jene Grösse einer ungeraden Zahl halber Wellenlängen gle
man die Gleichung hat $mn \cdot \sin \alpha = (2n + 1)\frac{\lambda}{2}$, oder $\sin$
wenn λ die Länge einer Welle bedeutet. Man sieht hieraus,
um so weiter auseinander rücken und um so breiter ausfal
die angewendete Spalte ist. Für das erste seitliche Bild ist
oder $\lambda = \frac{2\ mn \cdot \sin \alpha}{3}$. Kennt man daher die Breite mn
misst für die verschiedenen Farbenstrahlen die Werthe vo
sich daraus die Wellenlängen.

Für den ersten dunkeln Zwischenraum ist $\sin \alpha = \frac{\lambda}{mn}$
die Breite mn kleiner als eine Lichtwelle wäre, würde da
bald nicht sichtbar sein.

Es ist nunmehr leicht einzusehen, wie die Erscheinung
wenn man weisses anstatt homogenem Licht anwendet. Das
einem Beugungsbilde sind gemischt; die ersten seitlichen Bilder s
[illegible] im äussern Rand

Lichtbüschel einen hinreichenden Gangunterschied haben, um ihre Wirkung gegenseitig zu compensiren. Diess ist immer da der Fall, wo der Gangunterschied von *ms* und *m's'*, (Fig. 306) einer ungeraden Anzahl halber Wellenlängen gleich ist. Da der Gangunterschied durch *mm' sin. α* ausgedrückt ist, so sieht man, dass der Ort der sekundären Fransen von der Summe der Breite der Oeffnung und des Zwischenraums zwischen beiden Oeffnungen abhängig ist. Je weiter die Oeffnungen auseinander rücken, desto feinere und zahlreichere Fransen durchschneiden die Spectra erster Klasse.

Fig. 306.



: Zahl der Stellen, an welchen völlige Aufhebung des Lichtes eintritt, mit der Anzahl der nebeneinander angebrachten Oeffnungen. Fraunhat zuerst die Beugungserscheinungen, wie sie durch eine sehr grosse paralleler, gleichbreiter und durch gleiche Zwischenräume getrennter ı, durch sogenannte Gitter gesehen werden, näher studirt. Er erılche Gitter durch Einziehen feinen Drahtes in die Gänge zweier ganz n Schrauben oder durch Reissen von Linien in den Gold- oder Tuschg, welcher auf Spiegelplättchen angebracht war; die feinsten, bis zu ılten auf die Breite eines Millimeters durch Einritzen von matten Striittelst feiner Diamantsplitter auf Spiegelglas. Es ist begreiflich, dass solche Gitter, bei Anwendung homogenen Lichtes, nur die unveränder:der der angewendeten Lichtlinie in allen den Richtungen gesehen , in welchen der Gangunterschied der entsprechenden Randstrahlen nächsten Oeffnungen, also *mm' sin. α* (Fig. 306) irgend eine Anzahl Wellenlängen beträgt; wenn man davon noch die Richtungen abrechıch welchen die durch die einzelnen Oeffnungen dringenden Lichtsich in sich aufheben. Bei jeder, wenn auch geringen Abweichung ıen Werthen von *α* findet sich bei der grossen Anzahl von Spalten zu eliebigen leicht eine andere, so gelegen, dass die aus beiden dringen:htbüschel sich aufheben. Beträgt der Gangunterschied der Randstraheier nächsten Spalten z. B. $\lambda + \frac{\lambda}{n}$, so braucht man nur um $\frac{n}{2}$ Spai:iter zu gehen, um einen Gangunterschied von $(n+1)\frac{\lambda}{2}$ zu erhalten.

ı sehr feinen Spalten ist der Unterschied der Richtungen, nach welchen e Beugungsbilder der verschiedenen Farben erblickt, so gross, dass ıei Anwendung weissen Lichtes in grosser Reinheit auseinandertreten. ınenlicht sieht man die bekannten Fraunhofer'schen Linien (No. 558) bei 50 Spalten auf den Millimeter, und man hat hiermit das beste Mitıches denkbar ist, um die Wellenlängen bestimmter Farbenstrahlen ıauigkeit zu messen. Man stellt zu diesem Zwecke den Vertikalfaden 'nrohrs auf eine bestimmte Linie im ersten Beugungsbilde eines Gitters dann auf die nämliche Linie im ersten Beugungsbilde rechts ein. Ist ılfte des hierbei vom Fernrohr beschriebenen Winkels *α*, und ist ite *b* einer Spalte sammt Zwischenraum aus der Anfertigung des mirischen Gitters bekannt, so ist die Wellenlänge des betreffenden Strah: $= b \sin. \alpha$. Diese Formel bedarf noch einer Correction, wenn die der seitlichen Verschiebung des Fernrohrs bei der Messung gegen die ung der Lichtquelle, von demselben nicht als verschwindend angewerden darf. Folgendes sind die von Fraunhofer gefundenen

eine grosse Farbenpracht entwickeln, erklären sich aus den wendeten Grundsätzen in befriedigender Weise.

Feingeritzte Oberflächen zeigen auch im reflectirten Lichte terfarben. Das Farbenspiel der Perlmutter beruht auf diesem

579. Reflexion und Brechung. — Die vi wegung, welche in der Lichtquelle entsteht, überträgt angränzenden Aether, und indem eine Aetherschicht nommene Bewegung der folgenden Schichte mittheilt selbst zur Ruhe, gerade wie diess bei der Fortpfl Stosses in einer Reihe ganz gleicher elastischer Ku der Verbreitung der Schallwellen durch die Luft od elastischen Körpern der Fall ist. Jede solche Beweg sich mit einer Geschwindigkeit fort, welche durch wurzel aus der Elasticität, dividirt durch die Dichte schen Mittels, ausgedrückt ist. Weder die Elasticit Dichte des Aethers kann unmittelbar gemessen werde Quotient beider Grössen, für die Beschaffenheit des Ae ren Raume, ergibt sich aus der bekannten Fortpl schwindigkeit des Lichtes. Wenn ein Lichtstrahl bei gang aus dem leeren Raume oder auch aus der Luft i durchsichtige Substanz seine Richtung ändert, (Br darf man dieses als einen Beweis ansehen, d schwindigkeit der Wellenverbreitung in dem zweite andere ist.

Fig. 307.



auf die Gränzfläche MN zweier durchsichtiger Körper trifft, 'erden von den Puncten a, a', a'' aus Elementarwellen sich ›hl im ersten, als im zweiten Mittel verbreiten. Im ersten l wird diese Verbreitung mit der nämlichen Geschwindigkeit heben, mit welcher die einfallende Welle am fortging; im ten Mittel nehmen wir die Geschwindigkeit verschieden z. B. $\frac{}{4}$ von derjenigen der einfallenden Welle an. Während der t m der letzteren nach a'' gelangt, hat sich von a aus eine e $an = a''m$ ins erste, eine Welle $al = \frac{3}{4}\, a''m$ ins zweite l fortgepflanzt; von a' aus ist eine Welle $a'o' = a''m - a'o$ rste, eine Welle $a'o'' = \frac{3}{4}\,(a''m - a'o)$ ins zweite Mittel egangen. In gleicher Weise berechnet man die Halbmesser Elementarwellen für alle zwischen a und a'' liegenden Puncte. sames Licht kommt aber nur da zu Stande, wo diese Wellen int zur Bewegung des Aethers beitragen, also im ersten Mittel s der alle elementaren Wellen berührenden Linie $a''n$, im ten Mittel längs $a''l$. Die erstere heisst die zurückgewor-e, die zweite die gebrochene ebene Welle. Rechtwink-u diesen Wellenoberflächen sind die zurückgeworfenen und ochenen Strahlen gerichtet.

Was die zurückgeworfene Welle betrifft, so steht sie recht-lig gegen die Einfallsebene und da die Dreiecke $aa''m$ und ı beide rechtwinklig sind, die Seite aa'' gemeinschaftlich ha-und ausserdem noch $a''m = an$ ist, so sind auch die Winkel '' und naa'' gleich. Die zurückgeworfenen Strahlen liegen r in der Einfallsebene und machen mit MN, also auch mit dem uf gefällten Lothe pp gleiche Winkel.

Die gebrochenen Strahlen liegen zwar auch in der Einfalls-ıe, allein sie machen mit dem Lothe einen kleineren Winkel, lie einfallenden. Man sieht, dass die stärkere Brechkraft eines ls durch eine geringere Geschwindigkeit des Lichtes in dem-en bedingt erscheint. Nimmt man aa'' zur Einheit, so ist $a''m$ Sinus von maa'', welcher dem Einfallswinkel $ma''p$ gleich ist, al der Sinus von $la''a$, welcher dem Brechungswinkel $pa''b''$:h ist. Diese beiden Sinusse verhalten sich also, wie $a''m : a''l$, ' wie die Geschwindigkeiten des Lichts in beiden Mitteln. So ;e sich diese nicht ändern, wird auch das Verhältniss der Si-ıe von Einfall- und Brechungswinkel constant sein, wie dies ›llius als den einfachen Ausdruck des Brechungsgesetzes ınden hat*).

---

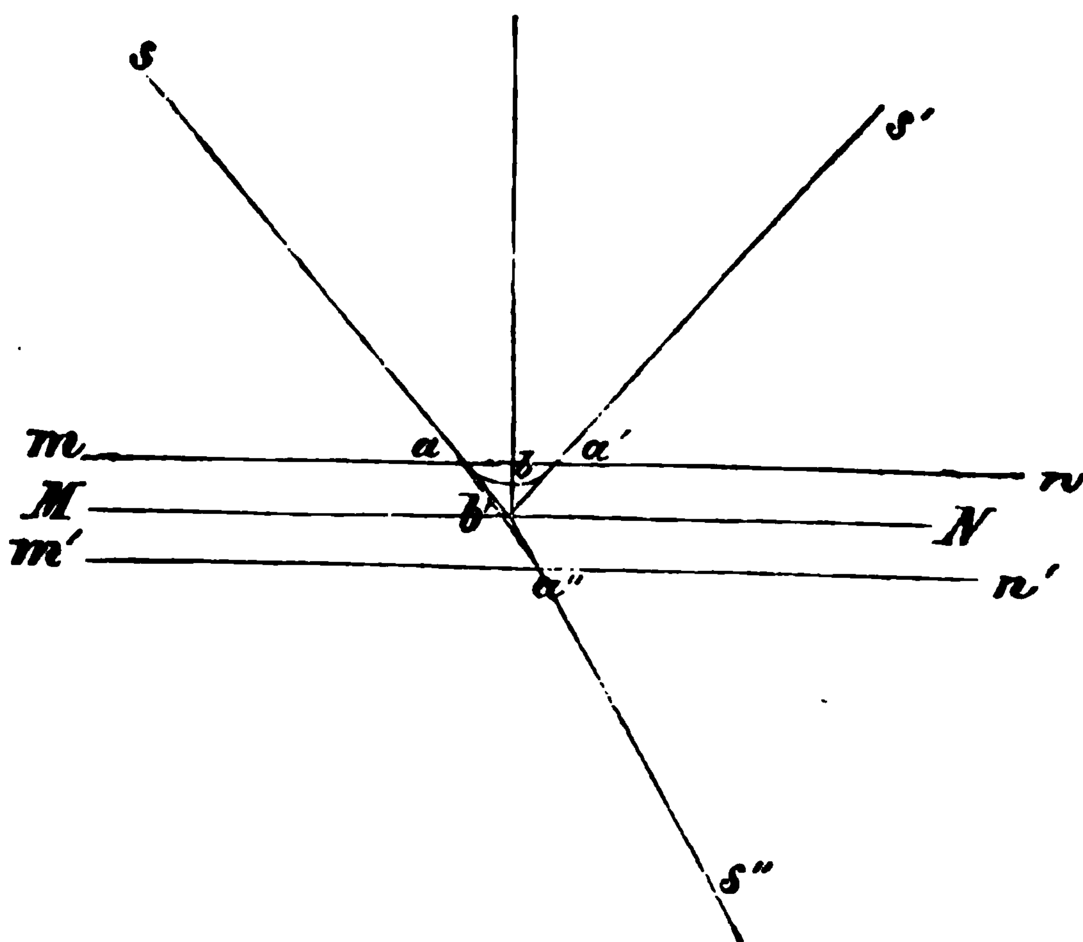
*) Newton hatte angenommen, dass die Fortpflanzung des Lichtes h eigenthümliche feine Körperchen geschehe, welche mit grosser Ge-ındigkeit von den Lichtquellen ausgeschleudert würden. In die Atome materiellen Substanzen verlegte er den Sitz zweier auf die Lichtkü-ıen wirkenden Kräfte, einer abstossenden und einer anziehenden Kraft.

Die Zerlegung des Lichtes in Farben, welche mit der Bre stets verbunden ist, beweisst, dass das Verhältniss in welchem die Ges digkeit der Wellenverbreitung bei dem Uebergang in ein stärker brec

---

Die Lichtkügelchen selbst aber sollten periodischen Veränderungen worfen sein, welche sie abwechselnd für die Abstossung oder für d ziehung geeigneter machten. In Fig. 308 bezeichnet *a b a'* die Bah Lichtkügelchens, welches in dem Strahl *s a* und im Zustand der lei

Fig. 308.



Abstossung sich der Grenzfläche *MN* zweier brechender Mittel näher Bahn ist gekrümmt, so lange das Lichtkügelchen sich in der Wirl sphäre der materiellen Moleküle befindet. Die zur Grenzfläche *MN* winklige Composante der Geschwindigkeit von *p* wird aufgehobe dann während der Bewegung von *b* nach *a'* durch die fortwirkend stossung wieder in gleicher Stärke in entgegengesetztem Sinne herg Die mit *MN* parallele Seitengeschwindigkeit ist unverändert gebliebe her das Lichtkügelchen mit unveränderter Geschwindigkeit und unter chem Winkel, unter welchem es einfiel auch zurückgeworfen wurde. – findet sich das Theilchen dagegen, wenn es in die Wirkungssphäre m Materie tritt, im Zustand grösserer Empfänglichkeit für die Anziehu beschreibt es unter dem Einflusse dieser Kraft eine krumme Bahn a indem seine zu *MN* rechtwinklige Seitengeschwindigkeit wächst, bis a Grenze *m'n'* die Anziehung nach allen Seiten gleich geworden ist. Es dann in gerader Linie *a''s''* mit vermehrter Geschwindigkeit weiter. I Zunahme an Geschwindigkeit, welche ein bewegtes Theilchen unter Einflusse einer beschleunigenden Kraft erleidet, nur von dem Wege a gig ist, welchen das Theilchen in Richtung der Kraft zurücklegt, da i dieser Weg bei der Lichtbrechung immer gleich der Dicke der Sc *m n m' n'*, also unter allen Einfallswinkeln der nämliche ist, so folgt, auch das Verhältniss der Geschwindigkeiten im ersten und zweiten für alle Einfallswinkel ein gleiches ist. Auch hieraus lässt sich dabe Gesetz von Snellius ableiten; allein man bemerkt sogleich, dass, wä die Vibrationshypothese eine geringere Geschwindigkeit in stärker bre

ttel sich vermindert, für die verschiedenen Farbenstrahlen ein ungleiches — Wenn man auch einsieht, dass diese Ungleichheit durch die Einwirkung er materiellen Moleküle bedingt sein muss, so sind doch die mechanischen Gründe der Erscheinung keineswegs aufgeklärt. Man hat eine einfache Beziehung zwischen den Wellenlängen und den Brechungsverhältnissen der Farbenstrahlen noch nicht aufzufinden vermocht. Uebrigens verkürzen sich die Wellenlängen beim Uebergang aus der Luft in ein stärker brechendes Mittel im Verhältniss des Brechungscoefficienten. Für den Strahl B im Roth ist nach S. 620 die Wellenlänge in der Luft $\lambda = 0{,}000688$ Millimeter, das Brechungsverhältniss dieses Strahls für den Uebergang in Flintglas ist $n = 1{,}627749$, daher die Wellenlänge im Flintglase: $\lambda' = \frac{\lambda}{n} = 0{,}000423$ Millimeter.

Bei dem Uebergang aus einem stärker brechenden Mittel in ein andres von geringerer Brechkraft tritt die Grenze der möglichen Brechung dann ein, wenn die von a (Fig. 306) in das zweite Mittel gegangene Welle einen Halbmesser grösser als aa'' angenommen hat, bis der Punct m der einfallenden ebenen Welle nach a'' gelangt. Es ist dann keine gegenseitige Unterstützung der Bewegung in diesen Elementarwellen mehr möglich, da jede folgende die vorhergehende nicht einholt; es tritt in diesem Falle totale Reflexion ein, (No. 535).

Polarisation des Lichtes.

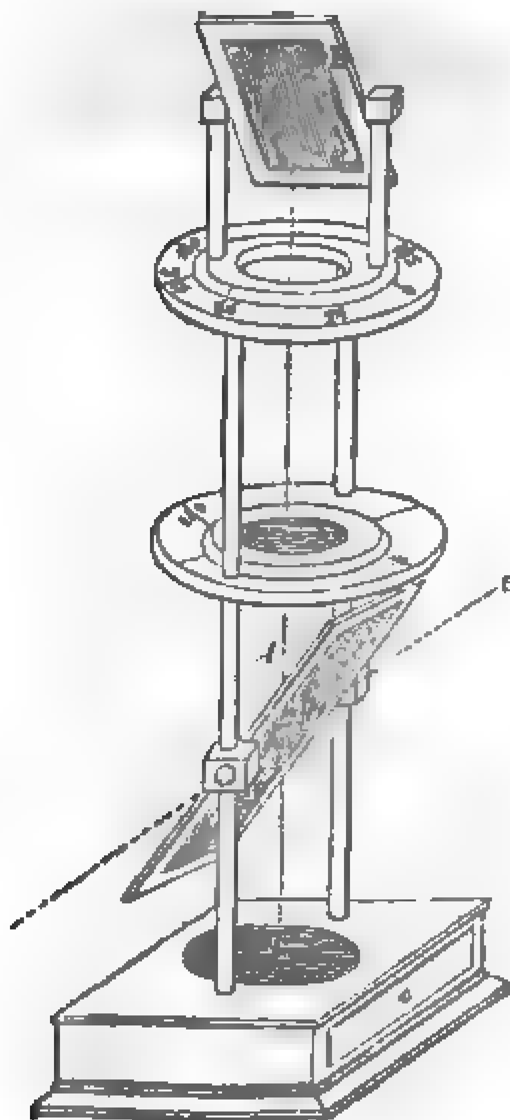
580. Ein Lichtstrahl, welcher auf ein natürliches Spaltungsstück von durchsichtigem Kalkspath trifft, wird in zwei Strahlen getheilt. Huyghens hatte bemerkt, dass diese beiden aus dem Kalkspathe hervorkommenden Strahlen sich nicht mehr wie unmittelbar von der Quelle kommendes Licht verhielten, sondern gleichsam Seiten von verschiedenen Eigenschaften angenommen hatten. Wurde ein zweites Spaltungsstück von Kalkspath dem ersteren mit seinen entsprechenden Kanten parallel gehalten, so

---

Mitteln voraussetzt, nach der Newton'schen Betrachtungsweise gerade Gegentheil folgt. Man hat in neuerer Zeit (Pogg. Ann. LXXXI., 434. XCII, 124) durch directe Messung der Geschwindigkeit des Lichtes in Luft und Wasser den entscheidenden Beweis für die Unrichtigkeit der Newton'schen Hypothese erhalten. Diese Messungen erfordern jedoch einen äusserst schwierig darzustellenden, kostbaren Apparat. Weit einfacher kann man jene entscheidende Thatsache constatiren, wenn man, wie Arago dies zuerst ausführte, in den Weg eines der beiden Lichtbüschel, welche an ihrer Durchkreuzungsstelle Interferenzfransen bilden, ein dünnes Blättchen aus einem stärker brechenden Mittel, etwa aus Glas oder Glimmer einschiebt. Ist die Geschwindigkeit des Lichtes in diesem Blättchen eine andre, als in der Luft, so müssen die Orte gleichen Gangunterschiedes, d. h. die Interferenzstreifen, ihre Lage ändern. Da man sie nun in jedem solchen Falle nach der Seite hin rücken sieht, auf welcher das Blättchen eingeschoben wurde, so beweist dies, dass das Licht in stärker brechenden Mitteln in der That eine Verzögerung erleidet, also sich langsamer bewegt.

wurde jeder der beiden aus dem ersteren hervorkomm
Strahlen nicht weiter gespalten; das nämliche fand statt,
man einen der beiden Kalkspathe um die Gesichtslinie als A
einen rechten Winkel drehte. In jeder andern Lage erblick
vier Bilder. Diese eigenthümliche Veränderung in den
schaften eines Lichtstrahls zog erst dann die Aufmerks
wieder auf sich, nachdem Malus im Jahre 1810 zufällig e
hatte, dass Sonnenstrahlen, welche von gegenüberlie
Fensterscheiben zurückgeworfen waren, durch ein Stück
spath betrachtet, fast ganz die nämlichen Eigenschaften de
wie ein Strahl, welcher vorher schon durch Kalkspath ge
war. Eine nähere Untersuchung führte zu dem merkw
Resultate, dass Licht, welches von gewöhnlichem Glas
einem Winkel von 56° zurückgeworfen wurde, von einer g
Glasplatte und unter dem nämlichen Einfallswinkel nicht m
rückgeworfen wird, wenn die Einfallsebene am zweiten
einen rechten Winkel mit derjenigen der ersten Zurückw
bildet.

Fig. 309.



Der von Nörrenbe
struirte Apparat (Fig.
vorzüglich geeignet, d
her gehörigen Erschei
zu zeigen. Man stellt
auf, dass ein Strahl
besten von weissen
ausgehend, unter 56°
Glasplatte A fällt. Er w
zurückgeworfen, geht
nach dem horizontalen
spiegel c, von welch
ohne in seinen Eigens
verändert worden zu
senkrecht aufwärts na
Spiegel B gesendet wir
chen man am beste
schwarzem Glase be
lässt.

Wie dieser Spiegel
Figur gezeichnet ist, ste
Einfallsebenen des Stra
beiden Spiegeln recht
gegeneinander, das k
mige Feld, welches d
den Durchbrechungen d
rizontalen Scheiben des
rates offen lassen, e

g dunkel. So wie man aber den oberen Spiegel sammt em ringförmigen Fusse dreht, indem man den Einfallswinungeändert lässt, beginnt das Feld hell zu werden und ert seine grösste Lichtstärke, wenn die Einfallsebenen an bei Spiegeln parallel gerichtet sind. Der Strahl hat demnach a die Zurückwerfung an der unteren Platte nach zu einander winkligen Richtungen verschiedene Eigenschaften angenen. Man legte, von der Newton'schen Vorstellung ausnd, den Lichtkügelchen verschiedenartige Pole bei, und a an, dass diese bei der Zurückwerfung am unteren Spiegel llel gerichtet würden, so dass der Strahl nur auf zwei gegenliegenden Seiten für die Abstossung der Materie oder die Zuwerfung empfänglich sei. Der Strahl wurde demnach, zum rschied von gewöhnlichem, von der Quelle kommendem te, ein polarisirter Lichtstrahl, der Einfallswinkel, unter hem er die veränderte Eigenschaft möglichst vollständig annt, der Polarisationswinkel, und die Einfallsebene des ls am unteren (Polarisations-) Spiegel, Polarisationsne genannt.

Die Reflexion ist übrigens nicht das einzige und auch nicht equemste und beste Mittel, um polarisirtes Licht darzustellen. n man den in der Verlängerung von *ab* an der Polarisationse des Nörrenberg'schen Apparates durchgehenden Antheil es Strahls mittelst eines besondern Spiegels auf seinen Polaionszustand untersucht, so findet man den Strahl von genlichem Lichte zwar verschieden, indem er je nach der Richtung Einfallsebene des Zerlegungsspiegels eine ungleich starke exion erfährt; allein in keiner Lage bleibt diese ganz aus; das t ist theilweise polarisirt. Man kann indessen diese weise Polarisation zu einer fast ganz vollständigen steigern, n man eine grosse Zahl paralleler Glasflächen hintereinander endet. Je dünner und durchsichtiger diese Platten sind, desto r brechende Flächen kann man anwenden, ohne doch gleichg allzuviel Licht durch Absorption im Innern der Glasmasse erlieren.

Eine Untersuchung der beiden aus dem Kalkspath tretenden hlen lehrt, dass sie beide, der eine rechtwinklig gegen den rn, polarisirt sind. Jeder durchsichtige Krystall, welcher t zum regulären System gehört, zeigt dieselbe Erscheinung, unter allen hat der Turmalin allein die Eigenschaft, schon emlich dünnen Platten den einen Strahl völlig zu absorbiren. Turmalinplatte, deren parallele Flächen nach der Hauptaxe Krystalls gerichtet sind, ist daher zur Darstellung polarisirten tes vorzüglich brauchbar.

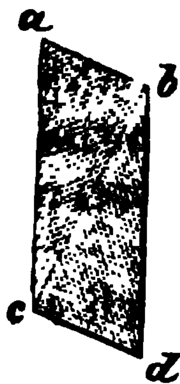
Um die beiden polarisirten Strahlen des Kalkspaths einzeln tzen zu können, trennt man dieselben, indem man ein Kalk-

spathstück prismatisch zuschleift, etwa die brechende K
rallel der Hauptaxe des Krystalls, und dasselbe zur Ver
der allzustarken Ablenkung und Farbenzerstreuung mit
Glasprisma achromatisirt.

Man sieht dann die beiden rechtwinklig gegeneinand
risirten Bilder gleichzeitig nebeneinander, oder auch no
weise ineinander greifend. Wo sich beide Bilder decken,
zen sich die polarisirten Strahlen zu natürlichem Lichte.

Um den einen Strahl ganz aus dem Gesichtsfelde zu
ist in dem sogenannten Nikol'schen Prisma die totale R
in einer geschickten Weise benutzt. Ein Kalkspathstück (F
bei *ab* und *cd* so abgeschliffen, dass diese
mit den natürlichen Kanten *ac* und *b*
Winkel von 68° bilden, wird nach *b*
winklig gegen *cd* durchgeschnitten. Die
flächen werden geschliffen und dann m
Schichte Canadabalsam wieder aufeinander
Da das Brechungsverhältniss dieses Harzes
hält zwischen den Brechungsverhältnissen
den Strahlen, welche durch den Kalkspath
mit *ac* gehen, so dringt der stärker geb
nicht in die Harzschichte ein, sondern erleid

Fig. 310.



Trennungsfläche *bc* die totale Zurückwerfung und
den geschwärzten Aussenflächen des Nikol'schen Pris
sorbirt. Zwei gekreuzte, d. h. mit ihren Polarisation
rechtwinklig gegeneinander gestellte Nikols löschen d
vollständig aus. — Zwei gekreuzte Turmalinplatten zeig
nau dasselbe Verhalten. Der Turmalin hat übrigens de
theil, dass er auch das durchgehende polarisirte L
deutend schwächt und zudem grün oder braun färbt
rend die Nikol'schen Prismen in beinahe vollständiger
sichtigkeit dargestellt werden können und das Licht
färben.

Nachdem Arago und Fresnel im Jahre 1816 die Wahrneh
macht hatten, dass rechtwinklig gegeneinander polarisirte Strahlen
Durchkreuzungsstelle keine Interferenzfransen erzeugen, während
gleich auftreten, wenn man die Polarisationsebenen beider Strahlen
richtet, gelangte Fresnel zu der Ansicht, welche Young schon
einer Abhandlung über die Farben in Krystallplättchen niedergele
dass die Schwingungen des Aethers, welche einen Lichteindruck
bringen, rechtwinklig gegen die Richtung des Strahles stattfinden.
wegung überträgt sich hiernach, von der Quelle ausgehend, ver
Repulsion der Aetherthellchen von einer Aetherschicht zur andern
Schichte vollendet eine volle Oscillation, während eine Welle durch
geht, ganz ähnlich wie bei einer Welle, welche sich einem gespann
entlang bewegt

Nimmt man an, dass in einem gewöhnlichen, von der Quell
menden Lichtstrahl die Oscillationen des Aethers vermöge der unre
sigen Erzitterungen der leuchtenden Theilchen in kurz aufeinander

iten in allen möglichen Richtungen stattfinden, welche auf der Riches Strahles rechtwinklig stehen, dass dagegen in einem vollständig irten Strahle die Schwingungen sämmtlich einer durch den Strahl en Ebene parallel gerichtet sind, so begreift es sich, wie ein polaristrahl verschiedene Seiten haben kann, und warum rechtwinklig aufer polarisirte Strahlen sich nicht auszulöschen vermögen.

n polarisirter Strahl, in welchem die Schwingungen rechtwinklig gee Einfallsebene, also parallel der zurückwerfenden Fläche gerichtet ann, an der Grenzfläche beider Mittel angelangt, in diesen nur solche gungen erregen, welche ebenfalls parallel zur Trennungsfläche gesind. Die Bewegung kann sich unter diesen Umständen nur dann ns zweite Mittel übertragen, wenn dieses den nämlichen Brechungsenten hat, wie das erste Mittel. Parallel mit der zurückwerfenden schwingendes Licht kann daher unter keinem Einfallswinkel volln ausgelöscht werden. Aus dieser Betrachtung folgt, dass die Schwindes an der untern Platte des Nörrenberg'schen Apparates polarisirrahles **senkrecht zur Einfallsebene (oder zur Polarisaebene) gerichtet sind.** — Vergleicht man hiermit das Verhalten malinplatten, so ergibt sich, dass diese nur von Schwingungen durchı werden, welche parallel der Axe des Krystalls stattfinden. Daımt die Beobachtung sehr gut überein, dass senkrecht zur Axe gene Turmalinplatten schon in äusserst geringer Dicke völlig undurchsind, während Platten aus dem nämlichen Krystalle parallel der schnitten noch bei weit grösserer Dicke das Licht durchlassen. — ahl, welcher das Nikol'sche Prisma durchdringt, enthält nur Schwinin der Ebene *abcd* der Figur 310.

in Strahl, dessen Schwingungen sämmtlich parallel einer seine Richtung gelegten Ebene erfolgen, heisst ein **geinig polarisirter**, zum Unterschied von anderen ngungszuständen, welche wir sogleich näher beschreiben n.

l. **Zusammensetzung polarisirter Strahlen.** Keine optische nung hat bis jetzt der Annahme von Transversalschwingungen wideren. Jede Veränderung, welche polarisirtes oder gewöhnliches Licht Zurückwerfung und Brechung erfährt, lässt sich aus der Zusammen- ; solcher Schwingungen nach dem Satz des Parallelogrammes der Gedigkeiten erläutern.

enn zwei in der nämlichen Ebene liegende Schwingungen von gleicher (also gleichfarbigem Lichte angehörend) sich nach gleicher Richtung ınzen, so hängt die Stärke der resultirenden Schwingung davon ab, le Bewegungen gleichzeitig, oder durch ein gewisses Zeitintervall gevon dem nämlichen Puncte ausgehen. Die Ausweichungen aus der ;ewichtslage, welche ein Aethertheilchen vermöge beider Bewegungen eitig annimmt, summiren sich. **Die Intensität des Lichtes aber ıdesmal dem Quadrat dieser Ausweichung oder dem Quaierjenigen Geschwindigkeit proportional, welche das rtheilchen bei dem Durchgang durch die Gleichgewichtsıngenommen hat.**

ıd die grössten Ausweichungen zweier Wellen c und c', und treffen in Aethertheilchen gleichzeitig, so wird dies bis zu einem Abstand ' aus der Ruhelage getrieben. Ist die eine Schwingung gegen die ana eine halbe Wellenlänge zurück, so sind beide Bewegungen an dem ıen Puncte in entgegengesetztem Sinne gerichtet. Das Aethertheil-

chen nimmt die grösste Ausweichung $c—c'$ an. Es findet völlige Aufhe der Bewegung statt, wenn $c = c'$ *).

Im Falle die beiden Schwingungsrichtungen rechtwinklig aufein stehen, kann eine geradlinige resultirende Schwingung nur dann ents wenn der Gangunterschied der Componenten gleich Null oder irgend Zahl halber Wellenlängen gleich ist.

Ein Gangunterschied einer geraden Anzahl halber Wellenlängen keine andere Wirkung haben, als wenn kein Gangunterschied vorh wäre. Beide Componenten greifen das Aethertheilchen m (Fig. 311) g zeitig an und führen es in der Richtung md der Diagonale des und c' construirten Parallelogramms fort, so dass $c'' = \sqrt{c^2 + c'^2}$. die Seitenschwingung c' durch irgend eine Ursache noch um eine

---

*) Um die Intensität der resultirenden Schwingung bei jedem Gangunterschiede der geradlinig polarisirten Strahlen zu erfahren, mu die Rechnung zu Hülfe nehmen.

Es sei $s = c \sin. 2\pi \frac{t}{T}$ (No. 489) die Ausweichung eines Th zu irgend einer Zeit t, welche in Theilen einer ganzen Schwingung ausgedrückt erscheint. Eine andere Welle gebe dem nämlichen Theil der nämlichen Zeit die Ausweichung $s' = c' \sin. 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right)$, w Gangunterschied beider Wellen bezeichnet, in den nämlichen Einheit gedrückt wie die Wellenlänge λ. Der sovielte Theil x von λ ist, ebensovielten Theil einer ganzen Schwingungsdauer wird ein Aetherth von der letzteren Welle später ergriffen, als von der ersteren, $\frac{t}{T}$ um $\frac{x}{\lambda}$ zu vermindern ist, wenn man die gleichzeitigen Ausweic in Rechnung nehmen will. Drückt man die Ausweichung des result Systems durch eine ähnliche Form $s'' = c'' \sin. 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x'}{\lambda}\right)$ findet man aus der Gleichung: $s'' = s + s'$, leicht:

$$c''^2 = \left(c + c' \cos. 2\pi \frac{x}{\lambda}\right)^2 + c'^2 \sin.^2 2\pi \frac{x}{\lambda}$$

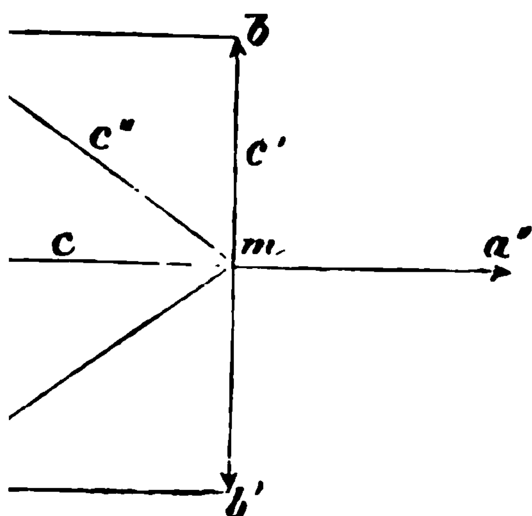
$$\text{und} \quad \tang. 2\pi \frac{x'}{\lambda} = \frac{c' \sin. 2\pi \frac{x}{\lambda}}{c + c' \cos. 2\pi \frac{x}{\lambda}}$$

beträgt der Gangunterschied beider Systeme, z. B. eine Viertelwelle, $x = \frac{\lambda}{4}$, so ist

$$c''^2 = c^2 + c'^2 \qquad \tang. 2\pi \frac{x}{\lambda} = \frac{c'}{c},$$

also die Intensität des resultirenden Strahls gleich der Summe der I täten der beiden componirenden Strahlen.

Fig. 311.



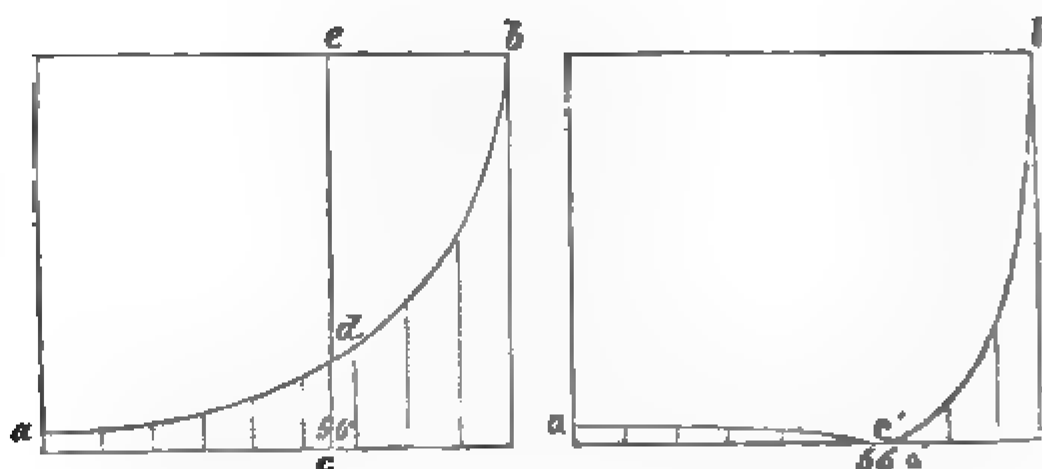
halbe Wellenlänge verzögert, so dass der Gangunterschied eine ungerade Anzahl halber Wellenlängen beträgt, so wirkt diese Seitenschwingung nach *mb′* in demselben Augenblicke, in welchem *c* nach *ma* gerichtet ist. Das Aethertheilchen wird daher nach *md′* aus der Ruhelage gerissen. Sind *c* und *c′* einander gleich, so steht die Schwingungsrichtung *md′* auf der im ersteren Falle erhaltenen *md* rechtwinklig. Eine Vermehrung des Gangunterschiedes um eine halbe Wellenlänge bewirkt daher in diesem Falle eine Drehung der Schwingungsrichtung um 90°.

las Aethertheilchen, nachdem es erst einen Theil des Weges *ma* ückwärts beschrieben hat, von der nach *mb* gerichteten Bewegung o lehrt die Rechnung, dass es dann in einer elliptischen Bahn um ge *m* herumgeführt wird. Ein solcher Strahl heisst dann ellip-ırisirt. Die Richtung und Grösse der grossen und kleinen Axe chen Bahn lassen sich leicht aus der Grösse *c* und *c′* der Seiten-;en und aus ihrem Gangunterschiede (oder Phasenunterschiede) – Wenn beide Seitenschwingungen gleiche Intensität haben und der chied eine Viertel-Wellenlänge beträgt, so dass das Theilchen *m*, ıch *a* gelangt ist, von der Seitenschwingung *c′* ergriffen wird, so iptische Schwingung in eine kreisförmige über, der Strahl heisst oder kreisförmig polarisirt. Jedes Theilchen, welches der pflanzt, bewegt sich im Kreise von *a* nach *b*, so lange die beiden ingungen zu wirken fortfahren. Die in der geraden Fortpflanıng des Strahles gelegenen Theilchen kommen, indem sie nach 'on dieser Bewegung ergriffen werden, auf eine schraubenförmig Curve zu liegen. In dem angeführten Falle ist die Schrauben-'echtsgewundene. Wäre dagegen *ma* gegen *mb* um eine Viertele zurück, so dass das Theilchen *m* von der Seitenbewegung erst ürde, wenn es vermöge der Schwingung nach *b* gekommen wäre, lie Kreisbewegung von *b* nach *a* hin gehen, die Schraubenlinie, Wellencurve in irgend einem Momente darstellt, wäre linksge-)asselbe Resultat würde eintreten, wenn *mb* gegen *ma* um drei ›r Wellenlänge verzögert wäre. Die Seitenschwingung *mb* würde ıetherthellchen angreifen, nachdem es von *m* nach *a* und wieder ›r *m* nach *a″* gelangt wäre, und die Bewegung würde in dem ı stattfinden.

rklärung der Polarisation. Wenn man bei parallelen Einder Spiegel im Nörrenberg'schen Apparate den Einfallswinkel des Strahls am oberen Spiegel von 0° bis 90° anwachsen lässt, so Intensität des hier zum zweiten Male zurückgeworfenen Lichtes n der Weise, wie die Ordinaten der Curve *ab*, Fig. 312. — Wien eine ähnliche Folge von Beobachtungen bei gekreuzten Spieı die Einfallsebenen rechtwinklig gegeneinander gerichtet sind), der normalen und streifenden Incidenz die Intensitäten des zu-'enen Lichtes begreiflicher Weise die nämlichen, wie im ersten 0° an aber nimmt die Intensität zunächst ab, sie wird unter dem ıswinkel Null und nimmt dann wieder bis zur streifenden Inci-

denz zu, wie dies die Curve $a'c'b'$, Fig. 312, versinnlicht. Sie ist gezeich

Fig. 312.



net für die Zurückwerfung am Glas, für welche der Polarisationswi etwa 56° beträgt*).

---

*) Indem Fresnel die Intensitäten des zurückgeworfenen und gebrochenen Strahls bei gegebener Intensität des einfallenden Lichtes und kanntem Einfallswinkel, nach den Gesetzen des Stosses elastischer Kö abzuleiten suchte, ging er von der Ansicht aus, dass die bewegten Ma in beiden Mitteln den Fortpflanzungsgeschwindigkeiten des Lichtes in de selben, sowie der Dichte des Aethers, welche die Ungleichheit der Fortpfl zungsgeschwindigkeit bedinge, proportional zu setzen seien. Nennt man Massen im einfallenden, gebrochenen und reflectirten Strahle m, m' und die Schwingungsamplituden c, c' und c'', so führt die Bedingung, dass lebendige Kraft im einfallenden Strahle der Summe der lebendigen Kr im gebrochenen und reflectirten Strahle gleich sei, zu der Gleichung m $= m'c'^2 + mc''^2$, welche für den Einfallswinkel α und den Brechung winkel α' in die Gleichung $\cos.\alpha \sin.\alpha'.c^2 = \cos.\alpha' \sin\alpha.c'^2 + \cos\alpha \sin.\alpha'.$ übergeht. Allein diese einzige Gleichung genügt zur Herleitung der bei Unbekannten c' und c'' nicht. Fresnel fügte noch die Hypothese hin dass parallel der brechenden Fläche die Verschiebungen des Aethers einfallenden und zurückgeworfenen Strahle derjenigen im gebrochen Strahle gleich seien.

Für rechtwinklig zur Einfallebene schwingendes Licht erhält man hie nach die Gleichung $c + c'' = c'$; für in der Einfallebene schwingend Licht dagegen, wenn man die entsprechenden Grössen mit $c_{,}$, $c_{,}'$ und bezeichnet, die Gleichung $(c_{,} + c_{,}'') \cos \alpha = c_{,}' \cos. \alpha'$.

Je nachdem man die eine oder die andre dieser Bedingungen mit d obigen Gleichung verbindet, ergibt sich

$$c''^2 = c^2 \cdot \frac{\sin.^2 (\alpha - \alpha')}{\sin.^2 (\alpha + \alpha')} \text{ oder } c_{,}''^2 = c_{,}^2 \cdot \frac{tg^2 (\alpha - \alpha')}{tg.^2 (\alpha + \alpha')}$$

Wenn n der Brechungscoefficient des Körpers ist, an welchem die Zu rückwerfung geschieht, und $c_{,} = c$ genommen wird, so erhält man die In tensität des senkrecht reflectirten Lichtes aus beiden Formeln gleich, näml

$$c''^2 = c^2 \left(\frac{n-1}{n+1}\right)^2$$

Nimmt man die Intensität des einfallenden Lichtes zur Einheit und

Wenn man auf die Oberfläche einer durchsichtigen Substanz nen geradlinig polarisirten Strahl einfallen lässt, dessen hwingungsrichtung einen Winkel von 45° mit der Einfallsebene ldet [also einen im Azimut *) von 45° polarisirten Strahl], so nd die Seitenschwingungen parallel und rechtwinklig zur Einllsebene, in welche man sich die Bewegung des Aethers zerlegt nken kann, im einfallenden Strahl gleich. Da bei jeder andern, s der normalen oder streifenden Incidenz, das in der Einfallsene schwingende Licht in geringerem Verhältniss zurückgerfen wird, als das rechtwinklig zur Einfallsebene schwingende, besteht im reflectirten Strahle jene Gleichheit nicht mehr, und e resultirende Schwingungsrichtung hat in Folge hiervon ein össeres Azimut angenommen. Bei jeder folgenden Reflexion in r nämlichen Einfallsebene wird es sich immer mehr 90° nähern; wird aber diesen Werth sogleich und schon bei einmaliger Rexion annehmen, wenn diese unter dem Polarisationswinkel gehicht. — Einen gewöhnlichen Lichtstrahl, welcher Schwinngen in allen möglichen Azimuten in unregelmässiger Folge hält, kann man sich in zwei Composanten zerlegen, welche allel und rechtwinklig zur Einfallsebene schwingen, und diese nposanten haben nothwendig gleiche Intensität. Nach der Reion aber an einer durchsichtigen Substanz herrschen die zur fallsebene rechtwinkligen Schwingungen vor, der Strahl ist ilweise polarisirt. Bei der Zurückwerfung unter dem arisationswinkel geht der gewöhnliche Lichtstrahl in einen geinig polarisirten über, da die parallel der Einfallsebene schwin-

---

net für Substanzen deren Brechungscoefficienten 1,5; 2,4; 4,0 sind, die nsität des normal zurückgeworfenen Lichtes, so erhält man $\frac{1}{25}$, $\frac{1}{6}$ $\frac{9}{25}$. Diese Zahlen charakterisiren die in der Mineralogie unterschieen Reflexionen, den Glasglanz, Diamantglanz und Metallglanz.

Bei der streifenden Incidenz ist der zurückgeworfene Strahl von dem fallenden nicht verschieden. Während der Werth für c''^2, für das rechtklig zur Einfallsebene schwingende Licht, von $\alpha = 0$ bis $\alpha = 90°$ stetig wächst, d $c_{\prime}''^2$ zwischen diesen Grenzen einmal Null, wenn $tg. (\alpha + \alpha') = \infty$, o $\alpha + \alpha' = 90°$. Diess ist dann der Fall, wenn $tg. \alpha = n$, und man t leicht, dass dann der zurückgeworfene und der gebrochene Strahl en rechten Winkel mit einander bilden. Das Gesetz, dass die Tangente s Polarisationswinkels dem Brechungsverhältniss der Subnz gleich ist, wurde zuerst von Brewster experimentell nachgesen und von Seebeck durch zahlreiche Messungen bestätigt. Man berkte indessen alsbald, dass dieser Satz nur für durchsichtige Körper von ringerer Brechkraft Geltung habe, und auf die Metalle und solche Subnzen, welche in Folge ihres hohen Brechungsverhältnisses das Licht mit tallähnlichem Glanze reflectiren, nicht anwendbar sei.

*) Für den Winkel, welchen eine irgend beliebige gerade Linie, mit er in derselben Ebene liegenden, und als Nulllinie angenommenen Richg bildet, wird in der Folge die übliche Benennung Azimut angewendet rden.

gende Composante ganz in den gebrochenen Strahl aufgenommen wird.

Der gebrochene Strahl enthält jedoch auch bei dieser Incidenz noch einen grossen Theil des rechtwinklig zur Einfallsebene schwingenden Lichtes, nämlich den ganzen Antheil *ed* (Fig. 312), welcher das reflectirte Licht *cd* zur ursprünglichen Intensität *ce* ergänzt. Durch einmalige Brechung kann daher ein gewöhnlicher Lichtstrahl nicht vollständig polarisirt werden, und nur durch häufige Wiederholung des Vorgangs an einer grossen Zahl hintereinander gelegter brechender Flächen kann man ihn dem Zustande vollständiger geradliniger Polarisation allmählig näher führen.

582. **Metallreflexion.** — Metallflächen haben nicht die Fähigkeit gewöhnliches Licht unter einer bestimmten Incidenz in geradellnig polarisirtes Licht zu verwandeln. Indessen erkennt man auch bei ihnen, dass die in der Einfallsebene schwingende Composante (*P*) mit geringerer Vollständigkeit reflectirt wird, als die rechtwinklig zur Einfallsebene schwingende (*R*). Man hat bei verschiedenen Metallen den Einfallswinkel aufgesucht, bei welchem das Verhältniss $\frac{P}{R}$ am kleinsten ausfällt, und indem man diesem Winkel die Bedeutung des **Polarisationswinkels** beilegte, berechnete man nach der Formel: $tg.\ \alpha = n$, die Brechungsverhältnisse der Metalle, welche wegen der Undurchsichtigkeit dieser Körper in keiner andern Weise ausgemittelt werden konnten. Bei dem Zink z. B. ist das Verhältniss $\frac{P}{R}$ bei etwa 77° am kleinsten und der Brechungscoefficient des Zinks hiernach $n = 4{,}331$.

Bei der Zurückwerfung an Metallflächen erleidet ein Lichtstrahl jedoch noch anderweite Modificationen, welche sich am einfachsten übersehen lassen, wenn man als einfallenden Strahl einen geradlinig polarisirten wählt. Gesetzt, die Schwingungen desselben erfolgen im Azimut von 45°, so dass die beiden Hauptcomposanten des einfallenden Lichtes gleiche Intensität haben. Man bemerkt alsdann, dass im reflectirten Lichte die geradelinige Polarisation aufgehoben ist. Ob theilweise Depolarisation, d. h. Ueberführung in den unpolarisirten Zustand, oder ob eine Umwandlung in elliptisch polarisirtes Licht stattgefunden hat, lässt sich mit einem Nikol oder einer Turmalinplatte nicht entscheiden. Die letztere Erklärung wird aber zur Gewissheit erhoben durch den Umstand, dass bei jeder Incidenz durch wiederholte Reflexionen die geradelinige Polarisation wiederhergestellt werden kann, wenn auch nicht in dem Azimut des einfallenden Strahls.

Bei jedem Metalle lässt sich eine Incidenz finden, und diese weicht nur äusserst wenig von dem Polarisationswinkel ab, unter welcher eine zweimalige Reflexion in der nämlichen Einfallsebene genügt, um die geradelinige Polarisation, welche bei der ersten Reflexion aufgehoben wird, in einem andern Azimut wieder herzustellen. Der Gangunterschied der beiden Hauptcomposanten muss demnach einer halben Wellenlänge gleich sein; da ein Gangunterschied von einer ganzen Wellenlänge das Azimut ungeändert gelassen hätte, und in diesem Falle auch nach einmaliger Reflexion die geradelinige Polarisation hätte beobachtet werden müssen. Nach dieser ersten Reflexion betrug der Gangunterschied beider Hauptcomposanten eine Viertelwellenlänge, das Licht war elliptisch polarisirt. Man hat Mittel gefunden, nachzuweisen, dass das in der Einfallsebene schwingende Licht gegen das rechtwinklig zur Einfallsebene schwingende zurückbleibt, und dass die Ver-

rung von der streifenden bis zur normalen Incidenz von 0 bis zu einer en Wellenlänge stetig anwächst. Der Winkel, bei welchem der Gangrschied $\frac{\lambda}{4}$ beträgt, hat den Namen Hauptincidenz erhalten. Er ist äusserst wenig von demjenigen verschieden, bei welchem das Verhältniss $\frac{P}{R}$ der Hauptcomposanten einen kleinsten Werth annimmt.

Die Reflexionserscheinungen der Metalle und diejenigen der durchsichtn Körper bildeten sonach zwei gesonderte Gruppen, die Fresnel'schen meln (S. 630) zeigten sich auf die Metallreflexion nicht anwendbar. Indeshatte man bemerkt, dass einige durchsichtige Körper von hohem Brengsverhältniss, wie Diamant, geschmolzener Schwefel, kohlensaures Blei, rhalb gewisser Gränzen der Incidenz deutlich elliptische Polarisation ten und Jamin*) hat endlich nachgewiesen, dass das nämliche auch Substanzen von niederer Brechkraft, wie bei Spiegelglas, Wasser etc. findet. Nur sind einerseits die Grenzen, zwischen welchen der Gangrschied der Hauptcomposanten sich von 0 auf $\frac{\lambda}{2}$ vergrössert, so eng Glas ist dieser Uebergang nur zwischen 50° und 60° bemerkbar), und rerseits sinkt das in der Einfallsebene schwingende Licht in der Nähe der ptincidenz auf einen so kleinen Werth herab, dass ohne feinere Mittel Beobachtung die Abweichung von der geradelinigen Polarisation nicht rgenommen werden kann. Je höher der Brechungscoefficient einer Subz ist, desto deutlicher und zwischen desto weiteren Gränzen tritt die ptische Polarisation hervor. Es folgen hier einige Beispiele, in welchen I Hauptincidenz, K das Verhältniss $\frac{P}{R}$ der Hauptcomposanten bei diesem fallswinkel, n den aus diesem Winkel berechneten, und n' den beobachn Brechungscoefficienten bedeutet.

	I	K	n	n'
Positive Substanzen.				
Selen	68° 5′	0,1750	2,605	—
Realgar	67°26′	0,0850	2,454	2,420
Kalkspath . . .	59° 0′	0,0591	1,675	1,654
Flintglas . . .	59°44′	0,0180	1,714	1,710
Quarz	56°50′	0,0102	1,530	1,547
Kronglas . . .	56° 5′	0,0060	1,487	—
Neutrale Substanzen.				
Alaun	55° 0′	0,0000	1,428	—
Menilit	56° 0′	0,0000	1,482	—
Negative Substanzen.				
Fluorin	55°15′	0,0084	1,441	—
Hyalith	54°52′	0,0064	1,421	—

Fast bei allen Substanzen wird die Composante P gegen R verzögert dem Alaun und Menilit allein konnte Jamin keine Spur von elliptir Polarisation auffinden. Auf diese sind daher die Fresnel'schen Formeln der Strenge anwendbar. Diese Formeln bilden jetzt nur noch einen speen Fall der allgemeinen Reflexionsformeln, welche Cauchy entwickelt und welche die Gesetze der Zurückwerfung an Mitteln jeder Brechkraft assen. Mit dem Namen negativer Substanzen hat Jamin diejenigen ichnet, bei welchen die in der Einfallsebene schwingende Composante zu ihr rechtwinkligen vorauseilt.

---

*) Ann. chim. phys. (3 Ser.) XXIX, 263, XXXI, 165.

Der Polarisationswinkel und die Hauptincidenz sind von dem Brechungscoefficienten abhängig, also nicht nur mit der Substanz, sondern auch für die verschiedenen Farbenstrahlen verschieden. Es kann daher bei der Zurückwerfung von in der Einfallsebene schwingendem Lichte immer nur Ein Farbenstrahl ins Minimum gebracht werden und es erklärt sich daraus die leichte Färbung, welche weisses Licht bei der Reflexion in der Nähe der Hauptincidenz annimmt, und welche sich bei oft wiederholter Reflexion an Metallflächen bis zu einem deutlich hervortretenden Farbentone steigert. Auch sieht man ein, dass aus diesem Grunde die Polarisation durch Reflexion nie eine vollständige sein kann. Der Turmalin und das Nikol'sche Prisma leisten in dieser Beziehung mehr.

Auch bei der totalen Zurückwerfung findet eine merkliche Verzögerung des in der Einfallsebene schwingenden Lichtes statt, abhängig von dem Einfallswinkel und dem Brechungsverhältniss. Bei gewöhnlichem Glase erreicht z. B. der Gangunterschied der beiden Hauptcomposanten unter der Incidenz 54° den Werth von ein Achtel Wellenlänge. Lässt man daher einen im Azimut von 45° geradelinig polarisirten Strahl zweimal unter jener Incidenz total reflectiren, so erhält man einen kreisförmig polarisirten Strahl. Zwei weitere Reflexionen desselben unter den nämlichen Umständen und bei gleichbleibender Einfallsebene, verwandeln die Polarisation wieder in die geradelinige, allein die Schwingungsrichtung ist gegen die anfängliche um einen rechten Winkel gedreht (Fresnels Parallelopipeda).

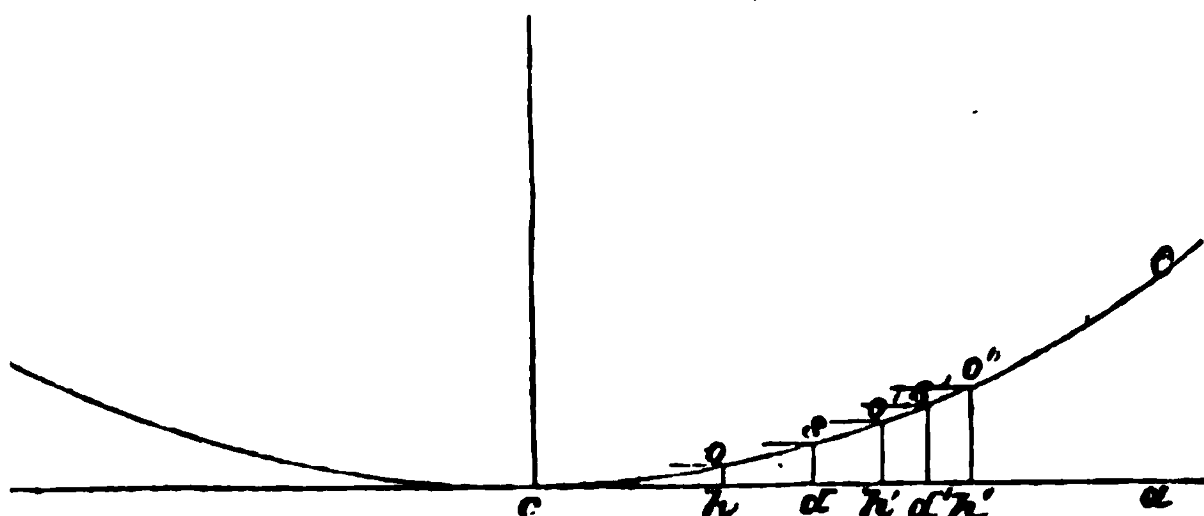
583. **Farben dünner Schichten.** — Die Zurückwerfung des Lichtes an den beiden Grenzflächen durchsichtiger dünner Schichten gibt zu Interferenzerscheinungen Anlass, welche durch die Lebhaftigkeit des Farbenspiels schon frühe die Aufmerksamkeit der Forscher erregt hatten. Es gehören dahin die Farben dünner Seifenblasen, dünner Fettschichten auf Wasser, des angelaufenen Stahls, sowie die regenbogenfarbigen Streifen, welche man in Sprüngen und Spalten durchsichtiger Krystalle (Kalkspath, Gyps) bemerkt. Unter dieser letzteren Form ist die Erscheinung zum Erkennen der Gesetzmässigkeiten am Geeignetsten und Newton wusste sie zu diesem Zweck künstlich dadurch hervorzurufen, dass er eine schwach convexe Glaslinse auf eine ebene Glasplatte presste. Die farbigen Ringe, welche in regelmässigen concentrischen Kreisen um die Berührungsstelle auftreten, haben den Namen der Newton'schen Farbenringe erhalten.

Lässt man normal gegen die ebene Platte im Newton'schen Apparat homogenes Licht einfallen, so bemerkt man im Mittelpunct der Erscheinung einen kreisförmigen dunkeln Fleck, diesen umgibt ein heller Ring und es folgt nun eine grosse Zahl von abwechselnd dunkeln und hellen Ringen, welche um so feiner werden, je weiter sie vom Mittelpuncte abstehen. Newton hatte bereits ausgemittelt, dass die Halbmesser *ch*, *ch'*, *ch''* . . (Fig. 313) der hellen Ringe wachsen, wie die Quadratwurzeln aus den ungeraden Zahlen 1, 3, 5 . ., die Halbmesser *cd*, *cd'* . . der dunkeln Ringe dagegen, wie die Quadratwurzeln aus den graden Zahlen 2, 4, . .

Die Dicken *ho*, *h'o'*, . . *ds*, *d's'*, . . der zwischen beiden Gläsern enthaltenen Luftschichte verhalten sich aber, wie aus der Eigenschaft des Kreises folgt, wie die Quadrate der Abstände *ch*, *ch'* . . *cd cd'* . . vom Mittelpuncte; so dass also die Dicken *ho*, *h'o'*, *h''o''* . . wie die ungeraden Zahlen 1, 3, 5 . . die Dicken *ds*, *d's'* . . wie die geraden Zahlen 2, 4 . . wachsen.

man nun an, dass die Auslöschung des Lichtes in den dunkeln s dem Zusammenwirken der an der oberen Grenzfläche *ce* und

Fig. 313.



n Grenzfläche *ca* reflectirten Strahlen folge, so wird man die nge da erwarten, wo die Dicke der Luftschichte $\frac{\lambda}{4}, \frac{3\lambda}{4}, \frac{5\lambda}{4}$.. eil dann der an der untern Fläche zurückgeworfene Strahl, nach- liese Schichte zweimal durchlaufen hat, die Gangunterschiede , $\frac{5\lambda}{2}$ gegen den an der oberen Grenzfläche zurückgeworfenen nommen hat. Die hellen Ringe dagegen würden den Dicken 0, $\frac{2\lambda}{4}, \frac{4\lambda}{4}$.. n. Da nun die Beobachtung gerade das Umgekehrte lehrt, so eine andere Ursache wirksam sein, welche den Phasenunter- Schwingungen, wie er aus dem Unterschied der Wege folgt, noch albe Wellenlänge vergrössert. Young suchte diese Ursache in rung der Schwingungsrichtung bei der Reflexion an einem dich- l, ähnlich wie eine elastische Kugel bei dem Anstoss an eine in entgegengesetzter Richtung zurückprallt. Die Fresnel'schen ormeln stehen mit dieser Vorstellung im Einklang, sie geben

$$'' = c \frac{sin.\ (a - a')}{sin.\ (a + a')} \text{ und } c''_{,} = c \frac{tg.\ (a - a')}{tg.\ (a + a')}$$

'' und c'', positive oder negative Zeichen, je nachdem a grösser er als a' ist, je nachdem also die Reflexion an stärker oder an brechenden Mitteln erfolgt. — Wenn man übrigens einen verstärk- ausübt, so kann man die beiden Gläser bei c wie zu einem Kör- len, so dass das einfallende Licht gerade durchgeht. Dann ver- im Felde der totalen Reflexion dieser innere Theil des dunkeln ht, während die umgebenden Ringe begreiflicher Weise wegfallen kein Licht mehr in die Luftschichte austreten kann.

; man die Luft zwischen beiden Gläsern durch eine tropfbare , so werden die Halbmessser der Ringe kleiner in dem Verhält- brechungscoefficienten der angewendeten Flüssigkeit. — Bei schie- t dagegen vergrössern sich die Ringhalbmesser; man kann leicht ss der Gangunterschied an der nämlichen Stelle sich im Verhält- osinus des Einfallswinkels vermindert; die Ringdurchmesser müs- im umgekehrten Verhältniss der Cosinusse d. h. wie die Sekanten swinkel wachsen.

rchfallenden Lichte beobachtet man die complementäre Erschei- erjenigen, welche die reflectirten Strahlen zeigen. Die Mitte ist

hell, bei *ko*, *k'o'*, *k''o''*, . . finden sich dunkle, bei *ds*, *d's'* . . hell
Die Erscheinung ist bedingt durch die Interferenz des gerade durch
den Lichts mit dem Strahl, welcher durchgeht, nachdem er zum er

bei *k* und zum zweitenmale bei *o* reflectirt worden war. Wenn *ko*

so macht diess einen Gangunterschied von $\frac{\lambda}{2}$ aus und dieser wir

weiter verändert, da beide Reflexionen an einem dichteren Mittel e
im Abstande *ck* entsteht daher ein dunkler Ring.

Man sieht leicht ein, dass im durchgehenden wie im reflectirten
der Durchmesser der Ringe mit der Brechbarkeit des Lichtes sich
muss. Er verhält sich wie die Quadratwurzel aus den Wellenlänge
nun bei Anwendung von weissem Lichte die Maxima und Minima de
stärken der verschiedenen Farben sich nicht decken, so tritt an di
von abwechselnd hellen und dunkeln in diesem Falle ein System r
genfarbiger Kreise, welche jedoch bei wachsendem Halbmesser im
niger reine Farben zeigen und sich ganz in weissem Lichte verliere
rend man bei Anwendung von homogenem Lichte noch weit hinaus h
dunkle Ringe wahrnimmt.

Die Farbenfolge in diesen Ringen (im reflectirten Lichte) ist
von Newton mit Aufmerksamkeit beobachtet und benannt word
ganz ähnliche Farbenreihen in vielen optischen Phänomenen auftre
es üblich geworden ist, in diesen Fällen die Terminologie der Ne
schen Ringe zu gebrauchen, so gehen wir noch etwas näher auf
trachtung dieser Farben ein.

Von der dunkeln Mitte aus gerechnet treten alle Farben all
grösserer Stärke auf, die brechbarsten erreichen ihre grösste Hellig
erst, daher der Farbenton an dieser Stelle fast Weiss mit einer sc
Hinneigung zu Graublau ist. Etwas weiter wird das Weiss noch
dann aber folgt, indem die brechbaren Strahlen nach und nach i
mum der Lichtstärke treten, Gelb, Orange, Roth. Die genannt
bilden die Farben erster Ordnung. In den Farben der zweiten und
Ordnung ist immer eine Parthie des Spektrums entschieden im M
daher diese Farben verhältnissmässig am Reinsten hervortreten. V
sert sich aber der Gangunterschied so weit, dass er ein ungerades

ches von $\frac{\lambda}{2}$ mehrer oder endlich sehr vieler ungleich brechbarer

ausmacht und gleichzeitig mehre und endlich sehr viele andre zwis
nen liegenden Strahlen [illegible] Spectrums [illegible] Maximum treten, so we
Farben immer matter und verlieren sich endlich in Weiss. Zerl
solches weisses Licht, welches [illegible] Abstande von der noch
gefärbten Ringen durch den Newton'schen Apparat gegangen ist,
Prisma, so findet man das Farbenbild von vielen dunkeln Streifen
schnitten, entsprechend allen den Farbstrahlen, welche bei dem betr
Gangunterschiede aufgehoben worden sind.

Die Farbenscale der Newton'schen Ringe wird [illegible] folgender
benannt:

Erste Ordnung: Schwarz, Lavendelgrau, Blassgrün [illegible]
Gelb, Orange, Roth.

Zweite Ordnung: Purpur, Violett, Indigo, Himmelblau, Hellgr
[illegible] Gelb, Carmoisinroth.

Dritte Ordnung: Violett, Indigo, Grasgrün, Gelb, Blassroth
[illegible]

Vierte Ordnung: [illegible] Roth, dunkel Grün, Grünroth. Fle

Fünfte Ordnung: Blasses Blaugrün, blasses Roth.

Von hier an wechseln nur noch blasses Grün mit blassem Roth. — Im ugehenden Lichte sind aus den oben angeführten Gründen die Farben complementären.

Der Gedanke, welchen schon Newton hegte, dass die natürlichen Far- der Körper auf ähnliche Art entstehen möchten, wie die Farben dünner tchen, ist in späteren Zeiten wieder aufgenommen und namentlich von ede*) ausführlicher entwickelt worden.

Wenn ein Körper, von weissem Lichte bestrahlt, farbig erscheint, so dies ein Beweis, dass gewisse Elementarbestandtheile des weissen Lich- unterdrückt wurden und nur die übrigen Strahlen, von dem Körper der ausgehend, in unser Auge gelangen. Die Farben, welche farbige rper im reflectirten Lichte, oder durchsichtige gefärbte Substanzen im chgehenden Lichte zeigen, sind selten von homogener Beschaffenheit. rch Zerlegung mit dem Prisma findet man leicht, welche Elementarbe- ndtheile dieselben einschliessen. Ein Smalteglas von 2 Millimeter Dicke B. lässt nur noch Roth und Violett mit merklicher Stärke durch, eine centrirte Lösung von zweifach chromsaurem Kali nur Roth, Orange und b, während alle übrigen Strahlen völlig ausgelöscht sind.

Setzt man einen Körper von ziemlich homogener Färbung der Bestrah- g durch homogenes aber andersfarbiges Licht, z. B. einen rothen Kör- grünem oder homogen gelbem Licht aus, so erscheint er fahl, aschfar- . Ein rothes und ein grünes Glas hintereinander gelegt, löschen das ht beinahe vollkommen aus. Die Strahlen erleiden daher in den farbi- Substanzen keine Umsetzung in eine andre Farbe, sondern die Färbung mmt allein dadurch zu Stande, dass aus dem einfallenden Lichte gewisse ahlen von der farbigen Substanz zurückgehalten werden.

Diese Absorption scheint erst nach Durchlaufung einer Schicht n gewisser Dicke merklich zu werden. In sehr dünnen Schich- n erscheinen auch lebhaft gefärbte Körper blass oder farblos; r Strich der meisten farbigen Mineralien ist blasser als die Kör- r in grösseren Stücken. Scheinbar farblose Körper, wie die ft, das Wasser, nehmen in dicken Schichten Färbung an. In- ssen muss doch bei manchen Substanzen die Schichte, in wel- er die Absorption zu Stande kommt, ausserordentlich dünn sein; ie z. B. die lebhafte rothe Farbe des feinsten Poliermittels, des enoxydpulvers, beweist.

Einen eigenthümlichen Anblick bietet das prismatische Far- bild solchen Lichtes dar, welches durch gewisse farbige Gase, e Jod- oder Bromgas, oder durch salpetrigsauren Dampf ge- ngen war. Man bemerkt eine grosse Menge schwarzer Strei- n, bei Jodgas etwa 100, bei salpetrigsaurem Dampf etwa 2000, lche das Farbenbild in der Art der Fraunhoferschen Linien rchschneiden. Die Erscheinung ist in dieser Beziehung die näm- he, als wenn man ein Weiss sehr hoher Ordnung zerlegt hätte; unterscheidet sich aber insofern, als die farbigen Gase noch sserdem gewisse Farbenräume des Spectrums, wie z. B. Jod- s das Grün und Hellblau, schwächen, oder ganz unterdrücken. ede hat nachgewiesen, dass sich alle diese Absorptionen aus

*) Pogg. Ann, XXXIII., 353.

Doppelte Brechung.

584. Die ungleich grosse Fortpflanzungsgeschw
Lichtes in verschiedenen Substanzen beweist den E
chen die Natur und Gruppirung der Moleküle auf der
sert. Man hat indessen diesen Einfluss noch nicht
gewusst, da die Abhängigkeit der brechenden Kraft
von ihrer chemischen Zusammensetzung, ihrer Dich
tur etc. zur Zeit noch in Dunkel gehüllt ist. Indessen
noch eine Klasse von Erscheinungen, welche die
der Verbreitung des Lichtes von der physikalischen
der Materie in überraschend regelmässiger Weise
die Erscheinungen der Doppelbrechung in k
Mitteln.

In amorphen Substanzen, wie Luft, Wasser, Glas,
Krystallen des regulären Systems, ist die Constitution
nach allen Richtungen hin eine nämliche und in ihne
sich das Licht auch nach allen Richtungen mit gleiche
digkeit. — In den Krystallen des quadratischen, h
rhombischen, monoklinometrischen und triklinomet
stems ist die Materie nicht in jeder Richtung gleich
Schon die Verhältnisse der Kantenwinkel lassen hier
sen, die Versuche Savart's über Elasticität, Mits
über Ausdehnung durch die Wärme, Senarmont's u
mann's über die Verbreitung der Wärme und Elektri
die Richtung, welche diese Krystalle zwischen den m

reinstimmender Weise kund, als ein Lichtstrahl beim Eingen in jeden solchen Krystall im Allgemeinen in zwei Strahgespalten wird, welche dann geradlinig und rechtwinklig geeinander polarisirt sind. Uebrigens lassen sich die doppelhenden Körper in zwei grosse Gruppen sondern. In den Krylen des quadratischen (Honigstein, Apophyllit) und des hexaalen (Kalkspath, Bergkrystall) Systems findet sich immer eine itung, in welcher ein Strahl fortgehen kann, ohne doppelt gehen und polarisirt zu werden. Diese Richtung, welche immer für alle Farbenstrahlen mit der krystallographischen Hauptzusammenfällt, heisst die optische Axe; die Krystalle der ähnten Systeme sind optisch einaxige genannt worden. Kalkspathe, welcher in Rhomboedern vorkommt, ist die Axe ch die Verbindungslinie derjenigen Ecken gegeben, welche von stumpfen Winkeln gebildet werden. Im Bergkrystalle ist die den Seitenflächen der sechsseitigen Säule parallel.

In den Krystallen des rhombischen (Arragonit, Salpeter, To-) monoklinometrischen (Borax, Adular, Gyps) und triklinomechen (Kupfervitriol) Systems finden sich zwei Richtungen, in chen ein Strahl weder doppelt gebrochen, noch polarisirt wird. se Körper heissen daher optisch zweiaxige.

Wenn man aus einem optisch einaxigen Krystalle Prismen leift, in verschiedener Lage gegen die optische Axe, und die chungscoefficienten in den beiden Farbenbildern, welche man n erhält, etwa mit Benutzung der Fraunhofer'schen Linien*) ist, so ergibt sich, dass die Brechungsverhältnisse in dem en Farbenbilde unter allen Umständen die nämlichen bleiben. einem Nikol findet man, dass die Schwingungen des Aethers diesen Strahlen stets rechtwinklig zur Axe gerichtet sind. Es ist dieser Strahl, welcher ganz dem Snellius'schen Brengsgesetze folgt, der ordentlich gebrochene, (O). — Brechungsverhältnisse im zweiten Farbenbilde ändern sich, nach der Neigung der brechenden Flächen des Prismas gegen optische Axe. Sie unterscheiden sich von denjenigen des hles *O* am meisten, die Doppelbrechung wird also am stärk, wenn die brechende Kante des Prismas der optischen Axe llel läuft, der Strahl sich also in einer zur optischen Axe twinkligen Richtung fortpflanzt. Eine Untersuchung mit dem l lehrt, dass die Schwingungen dieses Strahls immer in einer ne liegen, welche durch die optische Axe und den Strahl selbst t; dass sie also nach der optischen Axe selbst gerichtet sind, n der Strahl rechtwinklig zu dieser Richtung fortgeht. Jene ne hat den Namen Hauptschnitt erhalten. Die Schwin-

*) Rudberg, Pogg. Ann. XIV, 45, XVII, 1.

gungen des ordentlichen Strahls stehen immer senkrec dem Hauptschnitt; der Strahl, dessen Schwingungen i Hauptschnitt fallen, heisst der ausserordentlich g chene, (E).

Diese Erscheinungen in ihrer Gesammtheit haben Fr zu der Annahme geführt, dass in den optisch-einaxigen Kry die Elasticität des Aethers in allen zur Axe rechtwinklige tungen gleich, in Richtung der Axe selbst aber entweder g oder kleiner sei, und zwischen diesen beiden Hauptrich stetig zu- oder abnehme. Es harmonirt diese Vorstellung Gestalt und den übrigen physikalischen Eigenschaften dies stalle, welche sich ebenfalls in allen zur Hauptaxe rechtwi Richtungen gleich verhalten. — Wenn man sich von einem im Innern des Krystalls nach allen denkbaren Richtungen aufgetragen denkt, deren Länge proportional ist den in Richtungen ins Spiel gesetzten Elastizitäten, so liegen d puncte in einer Umdrehungsfläche, von Fresnel die El tätsfläche genannt. Die Rechnung lehrt die Gestalt Fläche finden, wenn das Verhältniss der Elastizitäten in d den Hauptrichtungen (parallel und rechtwinklig zur A kannt ist.

Dieses Verhältniss ist aber das nämliche, wie das d drate der Fortpflanzungsgeschwindigkeiten derjenigen S welche ein parallel zur Axe geschnittenes Prisma dringen. Es genügt daher zur Charakterisirung eines optis axigen Krystalls vollkommen, in einem solchen Prisma d chungscoefficienten der sieben Hauptstrahlen im ordentlich ausserordentlichen Bilde zu kennen. — In manchen Kry wie z. B. im Kalkspath ist E weniger stark gebrochen, sich also rascher fort, als O. Diese Krystalle heissen repu oder negative. In den attractiven oder positiven K len, wie z. B. im Bergkrystall, ist der ausserordentliche der stärker gebrochene.

Eine ebene Welle gewöhnlichen Lichtes, welche in einen opti axigen Krystall eindringt, setzt mit ihren nach allen möglichen A gerichteten Schwingungen die Elastizitäten ins Spiel, welche ein ihr durch den Mittelpunkt der Elastizitätsfläche geführter Schnitt in Richtungen darbietet. Nach Durchdringung einer sehr dünnen Schicl haben sich alle diese Schwingungen nach den Richtungen der grös der kleinsten der in diese Ebene fallenden Elastizitäten zerlegt, u beiden Composanten von gleicher Intensität pflanzen sich mit un Geschwindigkeiten fort, proportional den Quadratwurzeln aus den i gesetzten Elastizitäten. Denkt man sich diese Geschwindigkeiten, d den rechtwinklig zu einander polarisirten Wellen, in welche die eind Welle sich auflöst, in der Fortpflanzungsrichtung derselben nach Seiten hin aufgetragen und die nämliche Construction um den Mit der Elastizitätsfläche für jede denkbare Richtung der ebenen Welle führt, so hüllen die Wellen, wenn sie eine gleiche Zeit mit diesen Ge digkeiten fortgeschritten sind, zwei krumme Oberflächen ein, welche

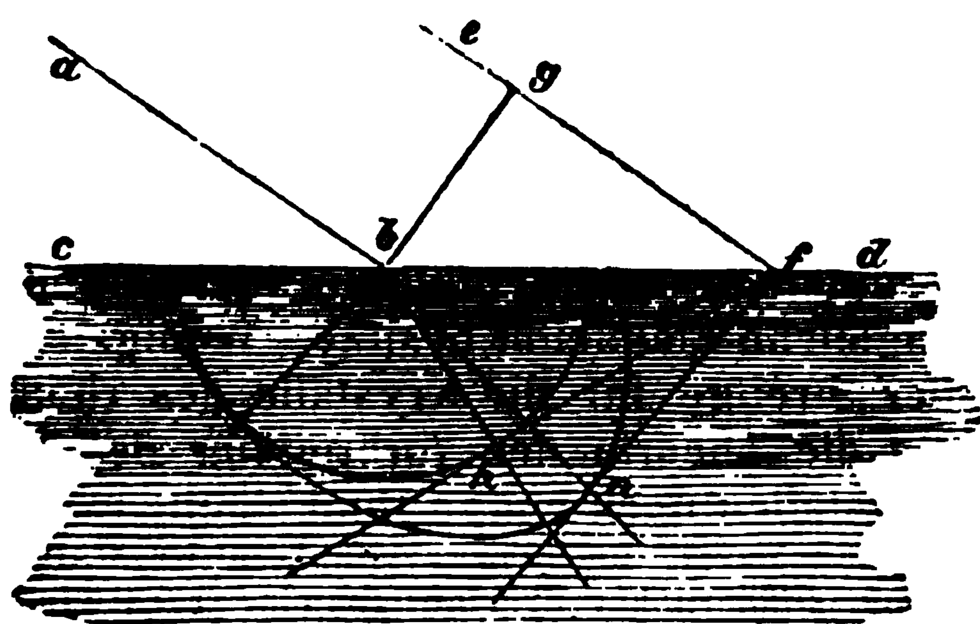
Vellenoberfläche einaxiger Krystalle bilden. Die Wellen-
s ordentlichen Strahls ist immer eine Kugel, so gut wie diess im
Wasser, oder in Krystallen des regulären Systems (Alaun, Stein-
r Fall ist. Die Wellenfläche des ausserordentlichen Strahls ist ein
igsellipsoid, dessen Umdrehungsaxe mit der optischen Axe zusam-
und immer dem Durchmesser der Wellenfläche *O* an Länge gleich
len negativen Krystallen hüllt das Ellipsoid die Kugel, in den posi-
Kugel das Ellipsoid ein.

Umdrehungsaxe und der Durchmesser des Aequators
drehungsellipsoid verhalten sich wie die Brechungs-
lisse des ausserordentlichen und ordentlichen Strahls.
kspath und Bergkrystall sind diese Verhältnisse die fol-
:

	Kalkspath.		Bergkrystall.	
	O	*E*	*O*	*E*
B	1,65308	1,48391	1,54090	1,54990
C	1,65452	1,48455	1,54181	1,55085
D	1,65850	1,48635	1,54418	1,55328
E	1,66360	1,48868	1,54711	1,55631
F	1,66802	1,49075	1,54965	1,55894
G	1,67617	1,49453	1,55425	1,56365
H	1,68330	1,49780	1,55817	1,56772

für ein auf einen Kalkspathkrystall fallenden Strahlen-
b ef, (Fig. 314), die Richtung der gebrochenen Strahlen
ne ähnliche Construction zu finden, wie diess No. 579 für
iche Brechung geschehen ist, nehmen wir zunächst an,

Fig. 314.



allsebene falle mit einem Hauptschnitt zusammen und be-
lie Construction auf den Strahl *D*. Während der Punct *g*
nen Welle *bg* den Weg *gf* durchläuft, hat sich von dem
die Welle des ordentlichen Strahls kugelförmig, die Welle
serordentlichen Strahls in Gestalt eines Ellipsoids ausge-

breitet. Es verhalten sich der Durchmesser der Kugel kleine Axe (b) des Ellipsoids zu gf, wie 1 : 1,658; die Axe (a) des Ellipsoids zu gf, wie 1 : 1,486, also

$$gf : b : a = 1 : 0,603 : 0,673.$$

Aehnliche Wellen, nur mit verhältnissmässig kürzere messern, werden sich von allen zwischen b und f lie Puncten ausgebreitet haben, und die ebenen Wellen fh welche sämmtliche Kugelwellen oder sämmtliche ellips Wellen berühren, gehören dem ordentlich oder dem ausse lich gebrochenen Strahl an. Die Richtung dieser Strahlen her bh und bn. Wie man sieht, steht nur der Strahl O zugehörigen ebenen Welle rechtwinklig, für den Strahl E im Allgemeinen nicht mehr. Wenn die Einfallsebene ni einem Hauptschnitte zusammenfällt, so lehrt die Const dass der ausserordentlich gebrochene Strahl dann selbst a Einfallsebene heraustritt; bei dem ordentlich gebro Strahl ist dies niemals der Fall.

Wenn eine ebene Welle gewöhnlichen Lichtes in der Richtung stallographischen Hauptaxe fortschreitet, setzen die Schwingung Azimuts eine gleiche Elasticität ins Spiel und werden daher mit Geschwindigkeit fortgepflanzt; jeder Grund einer Polarisirung ode brechung fällt somit weg.

Die Brechungsverhältnisse der Substanzen überhaupt änd mit der Temperatur. Die Aenderung ist aber bei den doppelbr Körpern im ordentlichen und ausserordentlichen Strahl nicht gl dass die Stärke der doppelbrechenden Kraft von der Temper hängig erscheint*). Bei dem Kalkspathe z. B. vermindert sie sic derselbe erwärmt wird und es steht diese Abnahme offenbar i Zusammenhang mit der Formänderung des Krystalls, welcher sich tung der Hauptaxe am stärksten ausdehnt, so dass das Rhombo immer mehr der Würfelform nähert.

585. In den optisch-zweiaxigen Krystallen keiner der beiden Strahlen die ordentliche Brechung. Fr gelang es, die optischen Erscheinungen, welche diese Kryst bieten, sämmtlich aus der Annahme zu erklären, dass der nach drei zu einander rechtwinkligen Richtungen (Ela tätsaxen) ungleiche Elasticität besitze. Wenigstens gen Theorie in aller Strenge für die Krystalle des rhombisch stems, während die Theorie der Verbreitung des Lichts schiefaxigen Krystallen noch einige Dunkelheiten darbietet

Die Elasticitätsfläche ist bei den zweiaxigen Krystallen kei drehungsfläche mehr, sondern hat drei aufeinander rechtwinklige a Hauptaxen, deren Verhältniss für jeden Krystall aus den Brechung elenten derjenigen Strahlen abgeleitet werden kann, welche den A Richtung dieser Axen in Bewegung setzen. Es sei a die grösste, b d lere, c die kleinste Elasticitätsaxe. Schleift man ein Prisma so, mit kleinster Ablenkung durchgehenden Strahlen sich in der Richt

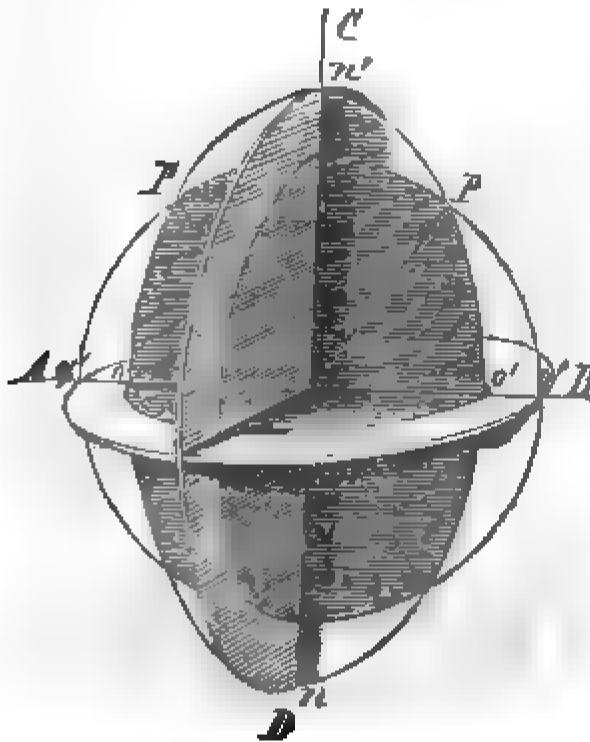
*) Rudberg in Pogg. Ann. XXVI. 291.

ewegen, so sind die beiden Farbenbilder so polarisirt, dass sie den her in der Richtung von c und von b in Bewegung setzen. Man erhält er aus dieser Messung den grössten (n) und den mittleren (n') der drei rakteristischen Brechungscoefficienten des Mittels. Ein zweites Prisma, ch welches die Strahlen in ihrer kleinsten Ablenkung in der Richtung b gehen, gibt zwei nach c und a schwingende Strahlen, welchen der ste (n) und kleinste (n'') der drei Brechungscoefficienten angehören. Ein es Prisma, in welchem die Strahlen sich in der Richtung von c bewegen, de zur Controle der vorhergehenden Messungen die Brechungsver- nisse n' und n'' liefern. Rudberg*) hat diese Messungen am Arragonit en Topase ausgeführt. Die Grössen $\frac{1}{n}$, $\frac{1}{n'}$, $\frac{1}{n''}$ sind den Fort- geschwindigkeiten in den drei Hauptrichtungen, die Grössen $\frac{1}{n^2}$, $\frac{1}{n'^2}$, $\frac{1}{n''^2}$, der kleinsten, mittleren, und grössten Elasticität des Aethers ichtung der Elasticitätsaxen proportional.

Jede in einen zweiaxigen Krystall eindringende ebene Welle gewöhn- en Lichtes löst sich in zwei andere ebene, rechtwinklig gegeneinander risirte Wellen auf.

Um die Schwingungsrichtungen zu finden, hat man nur parallel mit der le eine Ebene durch den Mittelpunct der Elasticitätsfläche zu legen, che dieselbe jedesmal nach einer geschlossenen Curve schneidet. Der ste und kleinste Durchmesser geben die Schwingungsrichtung an; und Fortpflanzungsgeschwindigkeiten der beiden polarisirten Wellen sind den adratwurzeln aus diesen Durchmessern proportional. Denkt man sich che ebene Wellen in allen denkbaren Richtungen durch den Mittel- ct der Elasticitätsfläche gelegt, und dann gleichzeitig mit den eben timmten Geschwindigkeiten in Bewegung gesetzt, so hüllen sie nach en gewissen Zeitabschnitt die **Wellenfläche der zweiaxigen Kry- alle** ein. Fresnel gelang es, die Gleichung dieser verwickelten che, welche in *Fig.* 315 nach ihren Durchschnitten mit den drei

Fig. 315.



*) Pogg. Ann. XVII, 1.

durch die Elasticitätsaxen gelegten Coordinatenebenen dargestellt ist, zuleiten.

In dem horizontalen Durchschnitte umschliesst eine Ellipse, deren der grössten (v) und mittleren (v') Fortpflanzungsgeschwindigkeit sind, einen Kreis, welcher das Mass der kleinsten Fortpflanzungsgeschwindigkeit (v'') zum Radius hat. — In dem von Vorn nach Hinten gericht vertikalen Durchschnitte umschliesst ein Kreis, dessen Radius dem der grössten Fortpflanzungsgeschwindigkeit (v) gleichkommt, eine E deren Axen gleich v' und v'' sind. — In dem andern vertikalen Durchsc durchschneidet ein Kreis vom Halbmesser v' eine Ellipse, deren Axen v'' sind.

Dieser letztere Durchschnitt ist der interessanteste, er ist desshalb Fig. 316 noch einmal besonders gezeichnet. Die Puncte P, P si

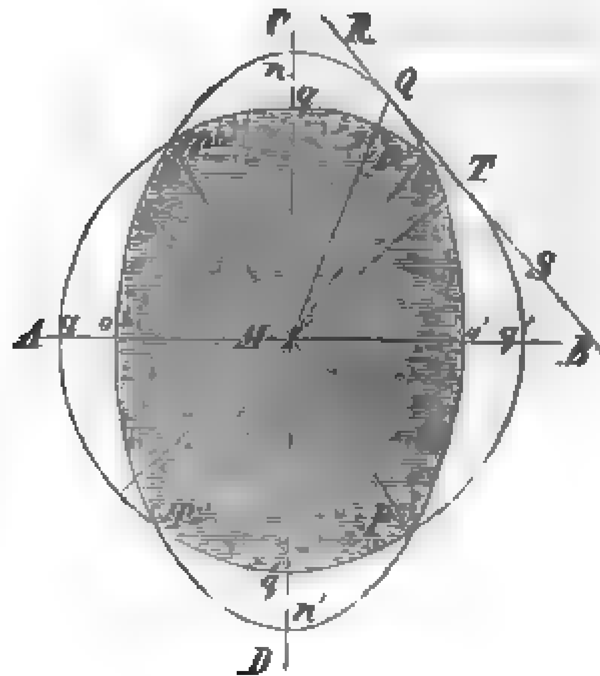


Fig. 316.

Spitzen von trichterförmigen Vertiefungen, welche in der Wellenfläch halten sind, und, wie man sieht, pflanzen sich in Richtung der Verbind linien jener gegenüber liegenden Puncte nur Strahlen von einerlei schwindigkeit fort. Fresnel nannte diese Richtungen die scheinb optischen Axen zum Unterschied von zwei andern Richtungen M welchen ebene Wellen fortgehen, ohne in zwei rechtwinklig pola Wellenebenen zerlegt zu werden.

Diese Richtungen, welche den Namen der wahren optischen führen, stehen rechtwinklig auf den zwei kreisförmigen Durchsch welche sich durch den Mittelpunct der Elasticitätsfläche führen lassen dem Unterschied einer grössten und kleinsten Elasticität in diesen D schnitten fällt der Grund einer Zerlegung und Polarisirung der Lich len weg.

Wenn die Richtung der grössten Fortpflanzungsgeschwindigkeit Lichtes den spitzen Winkel der optischen Axen halbirt, wie z. B. im To so nähert sich der Krystall in seinem Verhalten den positiv-einaxigen wird desshalb ebenfalls positiv genannt. Halbirt dagegen die Ric der kleinsten Fortpflanzungsgeschwindigkeit den spitzen Winkel der schen Axen, wie z. B. im Arragonit, so nähert sich der Krystall in s Verhalten den negativ-einaxigen und wird darum ebenfalls negativ ge Die Halbirungslinie des spitzen Winkels der optischen Axen hat den N

ttellinie, die Halbirungslinie des stumpfen Winkels den Namen der lementarlinie und die auf beiden rechtwinklige Axe den Namen ale erhalten*).

e Wellenfläche zweiaxiger Krystalle kann zur Bestimmung der Richler gebrochenen Strahlen ebenso benutzt werden, wie dies S. 641 für ptisch einaxigen Krystalle ausgeführt wurde. Die beiden Strahlen n im Allgemeinen aus der Einfallsebene ab und haben keine constanechungsverhältnisse. Um ihre Schwingungsrichtung zu finden, legt urch den Strahl und die beiden scheinbaren optischen Axen Ebenen. :hwingungsrichtung des einen Strahls halbirt den spitzen, die des n Strahls den stumpfen Winkel jener beiden Ebenen.

llt ein Lichtstrahl dergestalt auf einen zweiaxigen Krystall, dass die ene Welle rechtwinklig auf MT, Fig. 316, vorschreitet, so wird man rie in jedem andern Falle die Richtung der gebrochenen Strahlen finenn man parallel mit der gedachten Welle Berührungsebenen an die oberfläche legt. In jedem andern Falle aber erhält man zwei Berühbenen und diesen entsprechend, und nach ihren Berührungspuncten end, zwei gebrochene Strahlen. Eine zur MT rechtwinklige Ebene aber t die Wellenoberfläche nach einem Kreise, von dem Durchmesser QT, 16, indem sie die trichterförmigen Vertiefungen der Wellenfläche deckt. t zweier gebrochener Strahlen hat man in diesem Falle unzählige, : nach allen Puncten im Umfang jenes Berührungskreises gehen. Wenn eine Krystallplatte mit zwei parallelen zur optischen Axe rechtgen Flächen z. B. eine Arragonitplatte (von wenigstens 1 Centimeter an, so werden alle jene Strahlen, welche von einem Puncte herkomim Innern des Krystalls kegelförmig auseinander gingen, nach dem :t dem einfallenden Lichte parallel und gehen daher in einer cylindri-Strahlenhülle fort. Dieser merkwürdige Fall der Brechung wird dale cylindrische, oder innere kegelförmige Refraction ge-

---

Sind v, v', v'' die grösste, mittlere und kleinste Geschwindigkeit in rei Hauptrichtungen eines optischen zweiaxigen Krystalls, n'', n', n itsprechenden Brechungscoefficienten, so ist $n'' = \frac{1}{v}$, $n' = \frac{1}{v'}$, $\frac{1}{v''}$. Die Gleichungen der Ellipse und des Kreises in der Ebene der ien Axen sind:

$$n''^2 y^2 + n^2 x^2 = 1, \text{ und: } n'^2 (y^2 + x^2) = 1.$$

ıs diesen beiden findet man die Abscisse und Ordinate des Durchspunctes ausgedrückt, wie folgt:

$$x^2 = \frac{1}{n'^2} \cdot \frac{n'^2 - n''^2}{n^2 - n''^2}\;;\quad y^2 = \frac{1}{n'^2} \cdot \frac{n^2 - n'^2}{n^2 - n''^2}$$

ımt man den Winkel der scheinbaren optischen Axe mit der Mittel-, so ist

für positive Krystalle: für negative Krystalle:

$$\sin.^2 \alpha = n'^2 . x^2 = \frac{n'^2 - n''^2}{n^2 - n''^2}\;;\quad \sin.^2 \alpha = n'^2 y^2 = \frac{n^2 - n'^2}{n^2 - n''^2}$$

ıen so leicht lässt sich der Winkel der wahren optischen Axen mit ttellinie finden:

$$\sin.^2 \beta = \frac{n^2}{n'^2} \cdot \frac{n'^2 - n''^2}{n^2 - n''^2}\;;\quad \sin.^2 \beta = \frac{n''^2}{n'^2} \cdot \frac{n^2 - n'^2}{n^2 - n''^2}$$

Die Strahlen, welche längs den scheinbaren optischen Axen, al Richtungen *MP*, Fig. 316, fortgehen, können, da an den Puncten *P* s Wellenebenen berühren, welche ungleiche Abstände von *M*, also Fortpflanzungsgeschwindigkeiten haben, aus der Brechung sehr viel len hervorgegangen sein, welche in allen möglichen Azimuten verschiedenen Incidenzen auf die Krystalloberfläche trafen. Ebens diese längs *MP* fortgehenden Strahlen beim Austritt aus dem Kry sprechend den verschiedenen Geschwindigkeiten ihrer Wellen, ung brochen werden, und somit in einem kegelförmigen Büschel aus weichen, eine Erscheinung, welche den Namen der äusseren k migen Refraction erhalten hat.

Auch die Erscheinungen der Zurückwerfung an doppelbreche pern sind nicht so einfach, als diejenigen an isophanen Mitteln. mut der Polarisation ist von der Neigung der reflectirenden Fläch Einfallsebene gegen die Krystallaxen abhängig. Bei der inneren entsprechen einem einfallenden im Allgemeinen zwei reflectirte welche nicht immer in der Einfallsebene bleiben. — Mit zunehme chungscoefficienten tritt auch bei den Krystallen die elliptische P immer mehr hervor, so dass die undurchsichtigen metallisch Krystalle, wie z. B. Realgar und Bleiglanz, sich in dieser Bez Metallen ähnlich verhalten.

586. Farbenerscheinungen der Krystalle larisirten Lichte. — Die Farbenerscheinungen Krystallplatten im polarisirten Lichte zeigen, war zum grossen Theil bekannt, die Gesetzmässigkeiten Auftreten waren, namentlich von Biot und Arago, s Young (1814), studirt und zum Theil schon erklärt, ehe in seinem berühmten „mémoire sur la double réfraction" di der doppelten Strahlenbrechung aus der Annahme von T salwellen und einer nach verschiedenen Richtungen un Elasticität des Aethers vollständig entwickelt hatte.

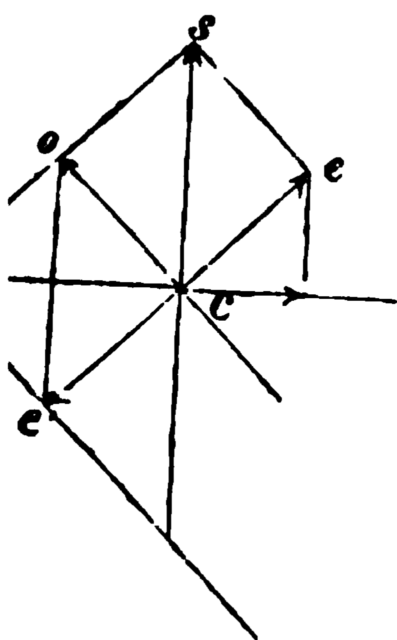
Wenn man eine Platte eines doppelbrechenden Krys ren parallele Flächen nicht gerade rechtwinklig auf ei schen Axe stehen, zwischen die gekreuzten Spiegel des berg'schen Apparates oder zwischen gekreuzte Nikols bri sie in ihrer eigenen Ebene dreht, so findet man zwei zu rechtwinklige Lagen, in welchen die Platte ohne Einfluss Beschaffenheit des Gesichtsfeldes ist, dieses also dunke wie vorher. In jeder dieser Lagen ist eine der Schwingu tungen, nach welchen gewöhnliches Licht beim Durchga die Krystallplatte zerlegt wird, parallel mit den Schwingun vom unteren Spiegel oder vom ersten Nikol kommenden Diese Schwingungen gehen also unverändert durch, wie eine Glasplatte gehen würden.

Dreht man dagegen die Krystallplatte in eine der be gen, in welchen die Schwingungen des polarisirten Str Winkel der beiden Polarisationsrichtungen im Krystall ha erblickt man bei Anwendung von weissem Lichte und Platte hinlänglich dick ist, das Gesichtsfeld hell.

Ist die Krystallplatte keilförmig zugeschliffen und

mogenes Licht an, so zeigt die Platte parallel mit der n Kante des Keils eine grosse Anzahl abwechselnd heller ıkler Streifen. Dreht man den analysirenden Spiegel oder n 90°, so treten an die Stelle der dunkeln Streifen helle, gekehrt.

Fig. 317.



Gehen wir nun zur Erklärung dieses Phänomens über. Man sieht zunächst ein, dass, wenn die Schwingungsrichtung *cs* (Fig. 317) des polarisirten Strahls den Winkel der beiden Schwingungsrichtungen im Krystall halbirt, man zwei Seitenschwingungen *co* und *ce* von gleicher Stärke erhalten müsse. Diese pflanzen sich jedoch mit ungleicher Geschwindigkeit fort, und nehmen daher einen Gangunterschied an, welcher von der doppelbrechenden Kraft des Krystalls, der Neigung der Flächen der Platte gegen die Axen und übri- 'enn diese Umstände als gegeben angenommen werden, Dicke der Platte abhängig und zwar dieser direct proport.

hen wir zunächst die Stellen der keilförmigen Krystalln Betracht, an welchen der Gangunterschied der beiden ı eine Anzahl ganzer Wellenlängen ausmacht, so wirken die Seitenschwingungen bei ihrem Austritt aus der Platte auf ıertheilchen im Sinne von *co* und *ce* (Fig. 317). Die reden Schwingungen sind daher nach *cs* den ursprünglichen gungen parallel gerichtet und können daher nur bei paraliegeln reflectirt werden. Alle diese Stellen erscheinen bei ıten Spiegeln dunkel. Betrachten wir nunmehr diejenigen an welchen der Gangunterschied der Strahlen *O* und *E* ngeraden Anzahl halber Wellenlängen gleichkommt, so im Austritt der Strahlen aus der Platte ein Aethertheilchen n Strahle *E* in der Richtung *ce'* bewegt, in dem Augenblick, hem der Strahl *O* es nach *co* treibt. Es bewegt sich daher r Resultirenden *cs'*, und diese Schwingungen werden bei ıten Spiegeln reflectirt; die betreffenden Stellen erscheier diesen Umständen hell, bei parallelen Spiegeln dagegen

› Streifen, welche die keilförmige Platte zeigt, sind aus beı Gründen breiter im homogenen rothen Lichte, als im und violetten, und bei Anwendung von weissem Lichte 'egenbogenfarbige Bänder auf, in ihrer Farbenfolge ganz den Newton'schen Ringen, und zwar bei gekreuzten Spie-

geln derjenigen im reflectirten, bei parallelen Spiegeln derjenigen im durchgehenden Lichte entsprechend. Die Farben verlieren sich bei einiger Dicke der Platte bald in einem Weiss höherer Ordnung.

Wenn man hinlänglich dünne Platten mit parallelen Flächen, wie man sie namentlich aus dem leichtspaltbaren Gyps von Fontainebleau und aus Glimmer erhalten kann, in der oben beschriebenen Lage in den Polarisationsapparat bringt, so erscheinen sie gleichmässig gefärbt. Die Farbe verschwindet, wenn man der Einfallsebene des analysirenden Spiegels ein Azimut von 45° giebt, weil dann nur die eine Composante der im Krystall zerlegten Schwingungen, also entweder nur der Strahl *O* oder der Strahl reflectirt wird. Bei einem Azimut von 90° tritt die complementäre Färbung auf.

Um zu bestimmen von welcher Ordnung der Farbenton eines Krystallblättchens ist, kreuzt man dasselbe mit einer keilförmigen Platte, so dass die Schwingungsrichtungen von *O* in dem Plättchen mit der Schwingungsrichtung von *E* in dem Keile zusammenfällt. An der Stelle, an welcher der Keil mit der Platte gleiche Dicke hat, ist der farbige Streif bei gekreuzten Spiegeln durch eine dunkele, bei parallelen Spiegeln durch eine helle Franse ersetzt.

Eine rechtwinklig gegen die optische Axe geschnittene Platte von Kalkspath, oder eines andern optisch-einaxigen Krystalls (mit Ausnahme des Bergkrystalls) zeigt unter den angegebenen Umständen keine Einwirkung auf das polarisirte Licht, wie dünn man dieselbe auch wählen mag. Bringt man aber eine solche Platte zwischen zwei gekreuzten Turmalinen dicht vor das Auge, so dass man noch in solchen Richtungen durchzusehen vermag, welche merkliche Winkel mit der optischen Axe machen, so erblickt man die Erscheinung Fig. 2. Pl. VI; das helle Feld von schwarzen Büscheln durchschnitten, welche rechtwinklig in einem Kreuz zusammenstossen und um den Mittelpunct concentrische farbige Ringe, von einer ähnlichen Farbenfolge, wie in den oben beschriebenen Streifen der keilförmigen Krystallplatte. Stellt man die beiden Turmaline parallel, so geht das schwarze Kreuz in ein weisses, die Farben der Ringe gehen in die complementären über *).

---

*) Da die Turmaline das durchgehende Licht immer mehr oder weniger färben, so muss man sich, wenn man die Interferenzfarben in voller Reinheit sehen will, anderer Vorrichtungen bedienen. Man kann das Licht durch Brechung in einem Bündel sehr dünner Glasplatten polarisiren und durch eine Convexlinse in einen Punct concentriren. Stellt man hier die Krystallplatte rechtwinklig gegen die Axe des Strahlenbüschels auf, so wird sie von den einzelnen Strahlen in sehr verschiedenen Neigungen gegen die optische Axe durchlaufen. Eine zweite Linse macht die Strahlen parallel

Da man weiss, dass mit der Neigung gegen die optische Axe der Gangunterschied des ordentlichen und ausserordentlichen ıls zunimmt, so bedarf die Entstehung der concentrischen ɜnringe keiner weiteren Erklärung. Der Gangunterschied ist 'ens auch der Dicke der Platte proportional, daher die Ringe ɯ weiter auseinander rücken, je dünner man die Platte ıift. — Denken wir uns die Axe des polarisirenden Turmalins kal, die des analysirenden horizontal, so werden alle Strahwelche in einer durch den optischen Mittelpunct des Auges nden und rechtwinklig zur Krystallplatte gestellten Vertikal-Horizontalebene den ersten Turmalin durchdringen, in der chen die Turmaline geschobenen Krystallplatte nicht zerlegt, die Schwingungen der ersteren sämmtlich im Hauptschnitt, ɪr letzteren rechtwinklig gegen den Hauptschnitt gerichtet Diese Schwingungen ändern ihre Richtung nicht und werlaher vom zweiten Turmalin nicht durchgelassen; daher das arze Kreuz. Dass dasselbe eine gewisse Breite hat, erklärt laraus, dass auch die in der Nähe jener Ebene vorbeigehen-Strahlen eine geringe Zerlegung erfahren, und daher imɹoch grösstentheils von dem zweiten Turmalin aufgehalten ɜn.

)ie Anordnung der Farben in den kreisförmigen Ringen wird ı das Verhältniss der Doppelbrechung für die verschiedenen ınstrahlen einigermassen bedingt. Sie kann durch diesen ınd nur dann wesentlich geändert werden, wenn jenes Verss ein abnormes ist, wie z. B. in dem Apophyllit, welcher ısitiver Krystall auf die brechbareren Farben, als negativer lie weniger brechbaren Strahlen wirkt und sich für einen ren Strahl einfach brechend verhält.

)ie Ringsysteme, welche zweiaxige Krystalle im sirten Lichte zeigen, unterscheiden sich so auffallend von nigen einaxiger, dass die Mineralogen diese Erscheinungen n bequemes Unterscheidungszeichen der Species und der allsysteme benutzen. Ein senkrecht zur Mittellinie nitttener Arragonit gibt zwischen gekreuzten Turmalinen arbenerscheinung (Fig. 3. Pl. VI.). Das schwarze Kreuz 't sich wie bei den einaxigen Krystallen. Die Form der ıfarbigen (isochromatischen) Curven beweist, dass hier angunterschied von O und E im zusammengesetzten Ver-

---

hrt sie zum Zerlegungsspiegel, eine dritte Linse endlich lässt sie nach ıge convergiren. Soleil hat diesen Apparat, allerdings noch mit Anwen-iner Turmalinplatte, so eingerichtet, dass man im horizontalen Sinne chen und ihn somit direkt nach einer Lichtquelle richten kann. Die lihalter gestatten eine Wendung der Platte, so dass man in verschie-Neigungen gegen die Axe durchsehen kann.

hältnisse des Abstandes von beiden optischen Axen wäc Lemniscate hat die Eigenschaft, dass für jeden Punct (lichen Curve das Produkt der Abstände von zwei festen ein constantes ist.

Dreht man die Krystallplatte zwischen den gekreuz malinen so, dass die Ebene der Axen den Winkel de Schwingungsrichtungen der Turmalinen halbirt, so g schwarze Kreuz in zwei getrennte hyperbolische Büsc (Fig. 4 Pl. VI.). Das Ringsystem (Fig. 5 Pl. VI) sieht ma die Krystallplatte rechtwinklig auf die eine der beiden (Axen geschnitten ist.

Wenn man die hyperbolischen Büschel (Fig. 4, Pl. V Nähe der Axenpuncte ins Auge fasst, so sollte man v aus nach Aussen und nach Innen zunächst den weissgr benton erster Ordnung zu sehen erwarten. Bei den mei stallen indessen bemerkt man mehr oder minder lebhaft Säume, bei dem Salpeter z. B auf der inneren Seite ein auf der äussern einen rothen Saum. Es beweisst diess, Richtungen, nach welchen die vom ersten Turmalin ko Schwingungen durchgehen, ohne zerlegt zu werden, Richtung der optischen Axen, für die verschieden b Strahlen nicht die nämliche ist. Der Winkel der optisch nimmt bei dem Salpeter ven den violetten nach den roth len hin ab, bei dem weinsauren Kali findet das umgeke Indessen liegen die Axen der verschiedenen Farbenstr den Krystallen des rhombischen Systems sämmtlich in lichen Ebene und haben einerlei Mittellinie. Bei den k der schiefaxigen Systeme weichen auch die Mittellinie und die Ebenen der Axen (Borax, Weinsäure) für die denen Farben von einander ab*).

---

*) Wenn man an einem rechtwinklig zur Mittellinie geschnitt axigen Krystalle den Winkel $2\alpha'$ der Richtungen gemessen hat, man die Axenpuncte erblickt, so hat man, um zum Winkel der A halb des Krystalls überzugehen, noch die Brechung zu berüc welche die längs der optischen Axen fortgegangenen Strahlen

Austritt aus dem Krystall erleiden. Man findet aus der Gleich

$=$ *sin* α den halben Winkel α der optischen Axen im Krystall, für n' den mittleren der drei charakteristischen Brechungsc S. 643, annimmt, da wie Fig. 315 zeigt, in der Richtung *MP* (Fortpflanzungsgeschwindigkeit stattfindet.

Ueber die Aenderung der Farbenerscheinungen, wenn anstatt polarisirtem, kreisförmig polarisirtes Licht angewandt wird, Dov Ann. XI, 457, 482.

Ueber den Einfluss der Temperaturveränderung auf die Lage schen Axen siehe Brewster in Pogg. Ann. XXVII, 480.

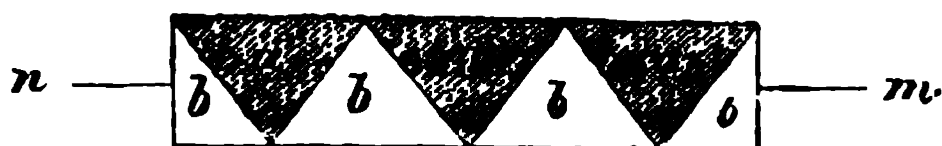
587. Natürliche Farben der Krystalle. — Mit der ungleichen Bre-
ıg des ordentlichen und ausserordentlichen Strahls in den doppelbrechenden
ern ist auch eine ungleiche Absorption derselben verbunden. Babinet will
erkt haben, dass der stärker gebrochene Strahl immer auch der vor-
weise absorbirte sei. — In manchen Krystallen trifft die Absorption, je
ı der Schwingungsrichtung des Lichtes die verschiedenen Farbenstrahlen
uffallend ungleichem Verhältniss, so dass ein solcher Krystall, je nach
Richtung, in welcher man hindurch sieht, ungleich gefärbt erscheint.
Dichroit hat von dieser Eigenschaft seinen Namen. — Haidinger
darauf aufmerksam gemacht, dass, wenn man die Farben derjenigen
hlen, welche den Aether in Richtung der Elastizitätsaxen in Bewegung
en, bestimmt habe, man aus der Mischung dieser drei Axenfarben alle
bentöne, welche der Krystall in beliebigen Richtungen zeigt, erklären
ne.

Auch im reflectirten Lichte zeigen manche doppelbrechende Krystalle
schiedene Farben, je nach der Lage der reflectirenden Fläche und der
alliebene gegen die Krystallaxen. So das Kalium- und Magnesiumpla-
yanür, das Murexid etc. Haidinger hat diese Erscheinung mit dem
ıen des orientirten Flächenschillers belegt.

Nichts beweist deutlicher, dass die Doppelbrechung sowie die Farben-
heinungen im polarisirten Lichte durch eine ungleichmässige, je nach
Richtung verschiedene Lagerung der Moleküle bedingt ist, als der Um-
d, dass man die nämlichen Erscheinungen auch in homogenen (isopha-
) Mitteln, wie z. B. in Glas und in regulären Krystallen, durch künst-
es Aufheben des gleichmässigen Molekularzustandes hervorrufen kann.

Werden Glasprismen *a, a, a, .. b, b, b ..*, so wie sie in Fig. 318 im Quer-
chschnitt gezeichnet sind, zusammengelegt, und sind die Prismen *a, a, a*

Fig. 318.



ıs länger, so dass sie beiderseits um Weniges hervorragen, so können
in einer Schraubenpresse einem in der Richtung ihrer Kanten wirkenden
cke ausgesetzt werden, ohne dass dieser Druck gleichzeitig auch die
men *bb..* trifft. Sieht man alsdann in der Richtung *m n* durch die Glas-
er, so erscheint eine feine Nadel, welche parallel den Kanten der Pris-
ı gehalten wird, doppelt. Die beiden Bilder gehen in eines zusammen,
wie der Druck zu wirken aufhört.

Plötzliche Abkühlung stark erhitzter Glasplatten hat ebenfalls ungleich-
sige Lagerung der Moleküle zur Folge. Solche Platten zeigen im Nör-
berg'schen Polarisationsapparat lebhafte Farben unter den nämlichen
Ständen und mit den nämlichen Eigenthümlichkeiten, wie dünne Platten
pelbrechender Krystalle. (Siehe Neuman in Pogg. Ann. LIV, 449.)

588. Erscheinungen im Bergkrystall. — Circular-
larisation. — Legt man eine weniger als 1 Centimeter dicke,
htwinklig zur Axe geschnittene Quarzplatte in den Nörren-
g'schen Apparat, so sieht man dieselbe gefärbt, während
ten aus andern einaxigen Krystallen unter diesen Umständen
ıe Farben zeigen. Dreht man den Zerlegungsspiegel, so än-
sich die Farbe der Quarzplatte und erst nach einer Drehung

der Einfallsebene um zwei rechte Winkel beginnt die näi Reihe von Farben von Neuem. Eine Drehung der Platte be stehenden Spiegeln hat keinen Einfluss auf die Farben. B tersuchung verschiedener Bergkrystallplatten bemerkt mai es zwei verschiedene Arten gibt, solche, welche bei der Di der Schwingungsebene des Zerlegers nach Rechts die Fa der Ordnung: Roth, Orange, Gelb u. s. w. bis Violett folgen (rechtsdrehende Bergkrystalle) und solche, bei welchen (ben in der nämlichen Folge auftreten, wenn man die S gungsebene des Zerlegers nach Links dreht (linksdrehend krystalle). Aeusserlich unterscheiden sich diese beidei von Quarz nur durch kleine Plagiederflächen, welche in (ren Ecke der Seitenflächen der sechsseitigen Säule entw der rechten oder der linken Seite vorkommen, je nach Quarz ein rechts- oder ein linksdrehender ist.

Lässt man homogenes Licht in den Nörrenberg'sche rat einfallen und sind die Spiegel gekreuzt, das Feld als so erscheint dasselbe alsbald hell, wenn man eine Quarz den Apparat bringt. Durch Drehung des Zerlegers um e wissen Winkel α kann man ihm jedoch eine Stellung g welcher wieder alles Licht ausgelöscht wird. Man sa die Polarisationsebene (oder die Schwingungsebene) des g polarisirten Lichtes sei um den Winkel α gedreht. E derholung dieser Beobachtungen mit verschieden dicke platten und mit Strahlen verschiedener Brechbarkeit, Biot zu den beiden folgenden Sätzen:

1) Die Drehung der Schwingungsebene ist der D Quarzplatte proportional. 2) Die Drehungswinkel für v dene Farbenstrahlen verhalten sich umgekehrt, wie die (der Wellenlängen. Neuere Versuche *) haben indessen dass der zweite Satz nur annähernd richtig ist. Im folgen die Drehungswinkel gegeben, für die den Fraunhofer's nien entsprechenden Strahlen durch eine Quarzplatte Dicke:

B	15°,3	E	27°,5
C	17°,2	F	32°,5
D	21°,7	G	42°,2

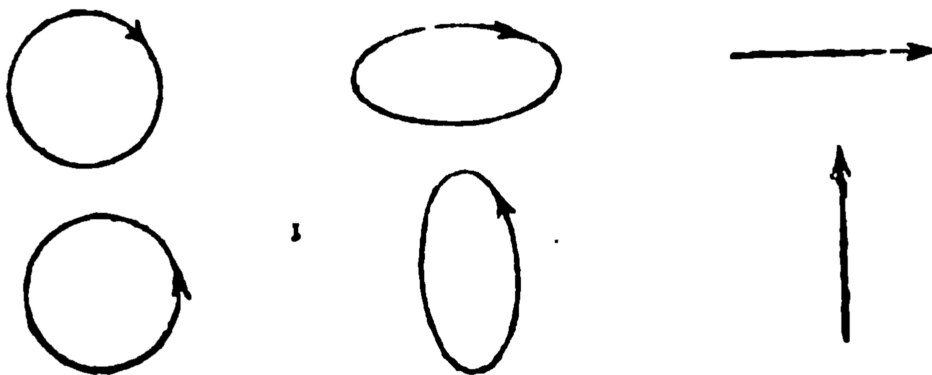
Da die Schwingungsebene verschiedener Lichtsorten, das Licht den Quarz durchdrungen hat, verschiedene Azi genommen haben, so sieht man ein, warum bei der Dre Zerlegers immer andere Farben ins Maximum der Reflexio Da aber nur derjenige Strahl völlig unterdrückt wird, Schwingungsrichtung mit der Einfallsebene des Zerlegers

*) Broch im Repertorium der Physik, Band VII, p. 113.

llt, alle übrigen Strahlen aber, wiewohl mit ungleicher Init reflectirt werden, so wird man nie reine prismatische n, sondern immer nur Mischtöne erhalten. — Zwischen pan Spiegeln gibt eine Quarzplatte von 3,75mm Dicke, einen hen Blau und Roth liegenden Ton, welcher vorzugsweise ll, bei geringer Drehung des Zerlegers nach der einen oder n Seite sein Ansehen ändert, indem er in Blau oder Roth geht. Er hat darum von Biot den Namen des empfindlichen ntones (couleur sensible) erhalten. Zwischen gekreuzten n oder Spiegeln gibt denselben Ton eine Quarzplatte von n Dicke.

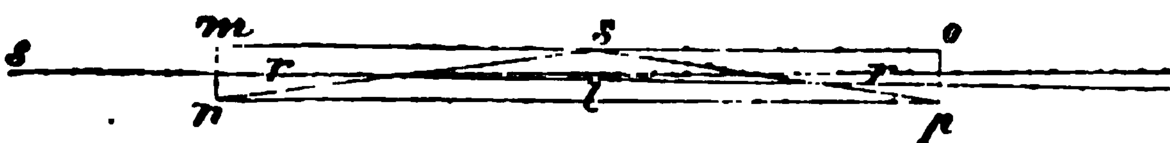
le eben beschriebenen Farbenerscheinungen erweckten in Fresnel den ken, dass auch längs der optischen Axe des Bergkrystalls sich zwei n mit ungleicher Geschwindigkeit fortpflanzen möchten. Geradlinige sation konnte man jedoch denselben nicht zuschreiben, weil bei der g der Quarzplatte im Polarisationsapparat weder die Intensität noch rbe des Feldes sich ändert. Rechtwinklig gegen die optische Axe ringen den Quarz zwar auch zwei geradelinig und senkrecht aufeinpolarisirte Strahlen, wie jeden andern optisch-einaxigen Krystall. wenn die Richtung der Strahlen sich der optischen Axe nähert, geht radlinige Polarisation, wie diess Fig. 319 andeuten soll, immer mehr elliptische und zwar mit entgegengesetzter Drehung über. Mit einem

Fig. 319.



betrachtet verschwinden die beiden Bilder in keinem Azimut dessel. Es liegt nahe, anzunehmen, dass die elliptische Polarisation in die irmige übergeht, wenn die Richtung des Strahls der optischen Axe l wird. Fresnel hat das Vorhandensein zweier solcher circular irten Strahlen von ungleicher Fortpflanzungsgeschwindigkeit direct wiesen. Er wandte zu diesem Zwecke zwei Prismen *r*, *r*, Fig. 320, echtsdrehendem Bergkrystall in Verbindung mit einem Prisma *l*, von

Fig. 320.

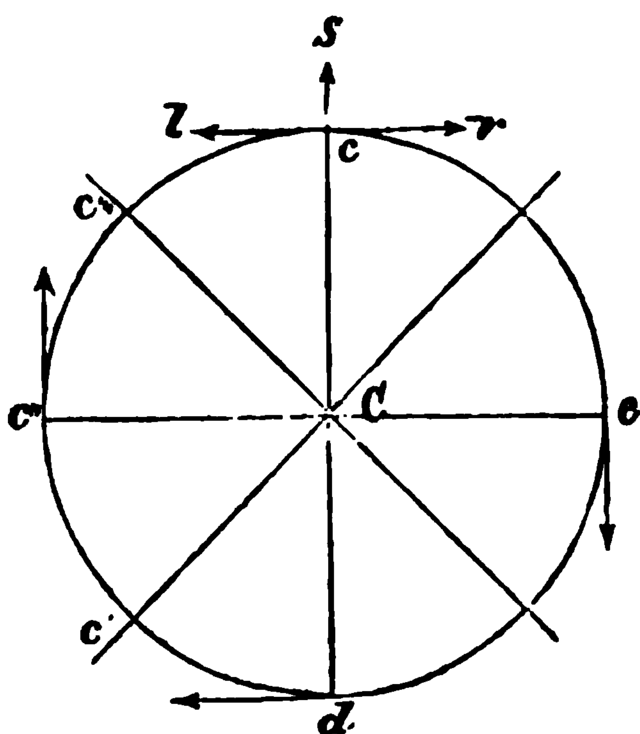


ehendem Bergkrystall an, so geschnitten, dass die Flächen *mn* und htwinklig gegen die optische Axe stand und ein Strahl *so* in Richer Axe fortging. Da nun in einem rechtsdrehenden Krystall der rechtsene Strahl, in einem linksdrehenden der linksgewundene die grössere

Geschwindigkeit hat, so muss wegen der Aenderung der Geschwindigk der Grenzfläche *ns* eine erste, an der Grenzfläche *sp* eine zweite Br stattfinden. Die beiden Strahlen, deren Dasein Fresnel vermuthet wurden auf diese Weise getrennt und konnten einzeln auf ihren Po tionszustand untersucht werden.

Wenn *CS* (Fig. 321) die ursprüngliche Schwingungsrichtung de risirten Lichtes ist und diese Schwingungen beim Eintritt in den Q zwei circuläre *cr* und *cl* werden, so wird die Richtu geradlinigen Schwingung, zu cher sich die beiden kreisfö beim Austritt aus dem Kryst der zusammensetzen, von de unterschied abhängen, welch Strahlen im Quarze ange haben. Ist dieser Gangunt eine ganze Schwingung, so die kreisförmigen Oscillatic *c* oder *d* zusammen, es ste dann die frühere Schwingu tung wieder her. Ist der terschied eine Viertelschwin dass die rechtsgehende B in *e* anlangt, während die hende sich in *c* befindet, so beide sich in *c'* begegnen, geradlinigen Oscillationen

Fig. 321.



nach *Cc'* gerichtet sein; die Schwingungsrichtung ist um einen halb ten Winkel gedreht. — Ist der Gangunterschied, welchen die bei culär polarisirten Strahlen im Quarze annehmen, gleich einer halben gung, so dass die rechtsgehende Bewegung in *d* wenn die linksge *c* anlangt, so begegnen sich beide Bewegungen in *c''*, die gera Schwingungen sind dann nach *Cc''* gerichtet, also die anfänglicl tung um einen rechten Winkel gedreht. Ueberhaupt ist die D der Schwingungsebene immer der ebensovielte Th zwei Rechten, als der Gangunterschied der beiden S von einer ganzen Schwingung.

Eine rechtwinklig zur Axe geschnittene Quarzplatte zeigt Turmalinen zwar ähnliche Farbenringe, wie der Kalkspath; schwarze Kreuz fehlt in der Mitte und tritt erst gegen den Rand b einer solchen Neigung gegen die Axe auf, unter welcher sich der tionszustand der beiden Strahlen nicht merklich mehr von dem g gen unterscheidet.

589. Bei dem Quarz ist die Erscheinung der Circula sation an die krystallinische Structur geknüpft, die amorp selsäure, der Hyalith, äussern keinen ähnlichen Einfluss Licht. Um so überraschender musste die Entdeckung ers welche von Biot und Seebeck gleichzeitig gemacht dass eine grössere Anzahl von Körpern, sämmtlich orga Ursprungs, sowohl in Lösungen, als im starren amorp stande, die Fähigkeit besitzen, die Polarisationsebene zu Eine Lösung von Rohrzucker oder von Weinsäure in Was hen die Schwingungsebene zur Rechten, reines Terpentin Lösung von Fruchtzucker, drehen zur Linken. Eine Lös

. Rohrzucker in 1000 gr. Wasser, in einer Säule von
eter Länge angewendet, gibt ganz die nämlichen Far-
inungen im polarisirten Lichte, wie eine rechtsdrehende
e von 1^{mm} Dicke. Biot, welcher den Gesetzen der
larisation durch Flüssigkeiten seit mehreren Jahrzehn-
ıausgesetzte Aufmerksamkeit gewidmet hat, führte den
ass das Vermögen die Schwingungsebene des Lichtes
eine den Molekülen innewohnende Eigenschaft ist, un-
von einer bestimmten Lagerung derselben. Zuckerlö-
Terpentinöl durch ein Uhrwerk in rasche Bewegung
erloren nichts von ihrer circularpolarisirenden (drehen-
auch schlechtweg optischen) Kraft. Das Terpentinöl
ıt in Dampfform noch merklich auf die Schwingungs-
es Lichtes, wenn man es in einer genügend langen
bis 2 Meter) anwendet. Auch im starren, amorphen
ind Rohrzucker und Weinsäure noch optisch wirksam.
· und Weinsäurekrystallen, welche zu den zweiaxigen
henden Körpern gehören, ist die Circularpolarisation
; beobachtet worden. Sie könnte sich ohnehin nur in
igen, welche rechtwinklig zu einer optischen Axe ge-
wären.
gt hier das Verzeichniss einiger Substanzen, deren Ein-
uf das polarisirte Licht beobachtet worden ist:

ːhtsdrehend:	Linksdrehend:
ucker.	Fruchtzucker.
enzucker.	Reines Terpentinöl.
ezucker.	Käufliches Terpentinöl.
teszucker.	Traubensäure.
her.	Amorphe Weinsäure (unter 22°C).
säure in Lösung.	Copaivabalsam.
ensäure.	Amygdalin.
iches Terpentinöl.	Strychnin.
ıenöl.	Brucin.
in.	Morphin.
ıonin.	Chinin.
din.	Santonin.
tin.	Phloridzin.
ıtoxylin.	Codëin.
	Jalappin.

ı man von der nämlichen Zuckerlösung Schichten von
ener Dichte nacheinander anwendet, findet man die Dre-
Schwingungsebene der Länge der Säule proportional.
n dagegen bei unveränderter Länge der Säule die dop-
fache Menge Zucker in die Lösung, so wächst die Dre-
Schwingungsebene in gleichem Verhältniss. Offenbar

ist dieselbe also proportional der Menge optisch wirksamer Moleküle, welche das Licht auf seinem Wege durch die flüssige Säule antrifft. Die Dispersion der Schwingungsebenen der verschiedenen Farbenstrahlen durch eine Zuckerlösung sowie durch alle Substanzen, welche in dieser Beziehung untersucht sind, folgt dem nämlichen Gesetze, wie im Quarze, nur die Weinsäure und gewisse Mischungen derselben mit Wasser und Borsäure, die Traubensäure und die optisch wirksamen Salze dieser Säuren zeigten ein abweichendes Verhalten.

Biot hat auf die eben angeführten Erfahrungen den abstracten Begriff der specifischen Rotationskraft gegründet. Ist α die Ablenkung der Schwingungsebene des Strahls B durch eine Säule von Zuckerlösung von l Decimeter Länge, wenn in der Gewichtseinheit dieser Lösung von specifischem Gewicht ε Gewichtstheile Zucker enthalten sind, so ist die specifische Rotationskraft (α) des Zuckers nach Biot:

$$(\alpha) = \frac{\alpha}{l \, . \, \varepsilon \, . \, \delta}.$$

Diese gilt natürlich nur für den betreffenden Farbenstrahl B. — Neuerdings hat man es, in Anbetracht der molekularen Natur des optischen Drehungsvermögens für angemessener gehalten, das specifische Drehungsvermögen anstatt auf die Einheit der Gewichtsmenge und eine hypothetische Dichte 1, auf Aequivalentgewichte der verschiedenen wirksamen Substanzen zu beziehen *).

Da das Wasser, welches dem Zucker zugemischt wird, keine Aenderung des specifischen Drehungsvermögens bewirkt, so darf man dies wohl als einen Beweis ansehen, dass die Zuckermoleküle in den Lösungen in keiner andern Weise beschaffen sind, als im ungelösten Zustande. Anders verhält sich die Weinsäure; ihr Drehungsvermögen wird durch Zusatz von Wasser dem Sinne nach umgekehrt und bedeutend verstärkt. Biot fand, dass die Gleichung $(\alpha) = -1°{,}555 + 15°{,}671\ e$, die Zunahme ihres specifischen Drehungsvermögens ausdrückt, wenn e den in der Gewichtseinheit der Lösung enthaltenen Antheil Wasser bedeutet. Noch auffallender ist die Verstärkung des Drehungsvermögens der Weinsäure durch einen geringen Zusatz der an sich optisch unwirksamen Borsäure **). In diesen Fällen muss also eine Aenderung im Bestand der Moleküle angenommen werden. Das Drehungsvermögen des Amygdalins überträgt sich in die Mandelsäure, das des Kamphers in die Kamphersäure, und in deren Salze. Auch das Drehungsvermögen der Weinsäure und Traubensäure ist in vielen Salzen dieser Säuren beobachtet worden. In allen diesen Fällen kann daher eine Veränderung des optisch wirksamen Moleküls nicht stattgefunden haben, allein die Aenderung des specifischen Rotationsvermögens in diesen Fällen ist Zeuge für eine stattgefundene chemische Einwirkung. Aehnliches gilt für die Asparaginsäure und Aepfelsäure, jedoch nur, wenn diese Körper so angewendet werden, wie sie natürlich vorkommen. Asparaginsäure, welche aus optisch unwirksamem fumarsaurem Ammoniak dargestellt wurde, und Aepfelsäure, in welche die so gewonnene Asparaginsäure übergeführt wurde, zeigten nach Pasteurs Angaben nicht die geringste Einwirkung auf das polarisirte Licht.

---

*) Wilhelmy in Pogg. Ann. LXXXI, 527.

**) Biot, Ann. chim. phys. 3tes X, 5, 175, 307, 385. XI, 82. XXVIII, 215, 351. XXIX, 35, 341, 430.

Eine andere Entdeckung desselben Physikers hat einen höchst interessanten Zusammenhang zwischen der Krystallform gewisser Körper und dem der Drehung, welche sie dem polarisirten Licht ertheilen, nachgewiesen. Aus dem traubensauren Natron-Ammoniak und dem traubensauren Natron-Kali setzen sich entgegengesetzt hemiedrische Krystalle in gleicher Menge ab, deren Formen sich zu einander verhalten, wie ein Gegenstand zu seinem Spiegelbild (symmetrische Hemiedrieen). Sondert man diese Krystalle und löst die gleichgebildeten für sich auf, so drehen die beiden Lösungen die Schwingungsebene des Lichtes mit gleicher Stärke, aber in entgegengesetztem Sinne. Mischt man gleiche Gewichtsmengen beider Krystalle, erhält sich die Lösung optisch neutral, wie vor der Krystallisation. Auch die aus beiden hemiedrischen Bildungen abgeschiedenen Säuren verhalten sich optisch entgegengesetzt. Die rechtsdrehende Säure ist in Nichts von Weinsäure verschieden, die linksdrehende verhält sich ihr vollkommen gleich, nur das circularpolarisirende und krystallographische Verhalten ist gerade entgegengesetzt.

590. **Saccharimeter.** Es bleibt uns noch übrig, eine optische Methode zu beschreiben, welche auf die optische Wirksamkeit des Zuckers gegründet und mit einem zweckmässigen Messapparat ausgestattet worden ist, um damit den Gehalt an krystallisirbarem Zucker in irgend einer Lösung z. B. im Safte des Zuckerrohrs oder der Runkelrübe, im Syrup, oder im diabetischen Urin und der Milch zu bestimmen.

Wir nehmen zunächst an, dass man in einer an ihren beiden Enden mit parallelen Spiegelplatten geschlossenen Röhre von 250 Millimeter Länge eine klare Lösung, welche ausser krystallisirbarem Zucker keine andere optisch wirksame Substanz enthalte, zwischen die gekreuzten Nikols *p* und *a* des Apparates (Fig. 6, Taf. ...) bringe und dass man nur homogenes Licht von der Brechbarkeit des Strahles *B* anwende. Man wird den analysirenden Nikol um einen Winkel α zur Rechten drehen müssen, um das Feld wieder vollkommen dunkel zu erhalten. Die Grösse dieses Winkels findet man mittelst der in Grade getheilten kreisförmigen Scheibe *ss*, auf welcher ein Zeiger *az* durch die Drehung des Nikols fortgeschoben wird. Da nun, wie oben angeführt wurde, in einer Röhre von gleicher Länge 11,64 Gewichtsprocente Zucker die Schwingungsebene des Strahls *B* um 15°,3 drehen, so wird der Gehalt an Zucker in der untersuchten Lösung, ausgedrückt in Gewichtsprocenten aus der Gleichung:

$$z = \frac{\alpha}{15^0{,}3} \cdot 11{,}64$$

...en.

Die Stellung des Nikols *a* indessen, bei welcher das Feld ... verdunkelt ist, lässt sich aus begreiflichen Gründen nur mit ...iger Schärfe bestimmen. Soleil hat daher dem Apparate, ...her den Namen Saccharimeter führt, einige Theile zuge..., welche die Genauigkeit der Messungen in bedeutendem ... erhöhen.

Zunächst ist hinter dem polarisirenden Nikol eine senkrecht zur Axe geschnittene Bergkrystallplatte *q* (Fig. 326) eingefügt, welche, durch die Mitte des Gesichtsfeldes getheilt, zur Hälfte aus rechtsdrehendem, zur andern Hälfte aus linksdrehendem Quarze besteht. Ihre Dicke ist 3,75 Millimeter, so dass sie zwischen parallelen Nikols den empfindlichen Farbenton zeigt. Senkt man unter diesen Umständen die Zuckerlösung ein, indem man die Röhre auf die Lager *o o* bringt, so wird die Wirkung der rechtsdrehenden Quarzplatte durch den Zucker verstärkt, die der linksdrehenden vermindert, beide Platten nehmen ungleiche Färbung an. Waren die Aenderungen nur gering, so kann man allein durch Drehung des Nikols *a* nach rechts die Gleichheit der Färbung beider Hälften der Doppelplatte wieder herstellen. Diess gelingt jedoch, wegen der ungleich starken Drehung der verschiedenfarbigen Schwingungsebenen nicht mehr, wenn die Zuckerlösung einigermassen concentrirt war. Soleil hat daher zwischen der flüssigen Säule und dem analysirenden Nikol noch den Compensator *C* angebracht. Derselbe (in Fig. 7. Pl. VI. besonders abgebildet) besteht aus zwei ganz gleichen rechtwinkligen Prismen von linksdrehendem Quarze, deren Kathetenflächen *c* und *c'* senkrecht zur optischen Axe stehen. Diese Prismen können mittelst der Schraube *v* durch ein Triebwerk sammt ihren Fassungen seitwärts gegeneinander verschoben werden, so dass sie eine Platte von veränderlicher Dicke repräsentiren. Die eine Fassung trägt eine Theilung *l*, die andere einen Nonius *n* und wenn dieser auf Null der Theilung steht, ist die optische Wirkung beider Prismen durch eine rechtsdrehende Platte *p* gerade compensirt, das ganze System also bezüglich der circularpolarisirenden Wirkung so gut wie nicht vorhanden. Sobald man aber durch die Schraube *r* das Triebwerk in Bewegung setzt, so dass die Dicke der Platte, welche die beiden Prismen bilden, wächst, beginnt eine linksdrehende Wirkung aufzutreten und es leuchtet ein, dass man diese leicht so abmessen kann, dass die rechtsdrehende Wirkung einer Säule von Zuckerlösung hierdurch gerade compensirt wird. Man hat somit ein bequemes Mittel der Doppelplatte *q* die gleiche Färbung wiederzugeben, welche durch die Zuckerlösung aufgehoben worden war.

Die mit dem Prisma des Compensators verbundene Theilung ist so beschaffen, dass 100 Theile einer Vermehrung der Plattendicke um 1 Millimeter entsprechen. Hat man den Index z. B. um 50 Theile verschieben müssen, um die Gleichheit der Färbung in der Doppelplatte wieder herzustellen, so ist die drehende Wirkung der Zuckerlösung gleich der von 0,5mm Quarz. Die Lösung enthält daher den obigen Daten zu Folge 5,82 Procent Zucker.

Die angegebene Methode reicht nicht aus, wenn die Lösung ausser krystallisirbarem Zucker, noch andere Substanzen enthält

ıf die Polarisationsebene des Lichtes einwirken. Es essen hier die Erfahrung zu statten, dass der krystalli- ;ker durch Erhitzen mit reiner Salzsäure bis zu 68° in sirbaren Fruchtzucker umgewandelt wird, welcher das Licht in entgegengesetztem Sinne dreht. Da bei dieser alle andern optisch wirksamen Substanzen unverändert) kann man mit Hülfe zweier Bestimmungen, einer vor ıach der Behandlung mit Salzsäure, den Gehalt an kry- em Zucker finden.

1 Procent Rohrzucker in Lösung in einer Röhre von 250^{mm} : die Drehung a hervor, die Lösung enthalte aber A Procent andern optisch wirksamen Substanzen gebe 1 Procent die Dreh- . und die Lösung enthalte B, C.. Procent derselben, so beob- im Ganzen die Drehung:

$$D = Aa + Bb + Cc + ..$$

:ns a, b, c mit den positiven oder negativen Zeichen zu nehmen dem die Drehung zur Rechten oder zur Linken erfolgt. a' be- Drehung durch 1 Procent Fruchtzucker, so wird man nach der mit Salzsäure eine Drehung

$$D' = -Aa' + Bb + Cc + ..$$

und es ist $D - D' = A\,(a + a')$, also die zu bestimmende ::

$$A = \frac{D - D'}{a + a'}.$$

hungsvermögen des Rohrzuckers, also auch die Grösse a, ist nperatur so gut wie unabhängig, das Drehungsvermögen des rs dagegen vermindert sich bei steigender Temperatur. Nimmt ;e des Rohrzuckers zu 100 an, so ist das Drehungsvermögen ıckers:

°	bei 15°	bei 20°	bei 25°	bei 30°	bei 35°
	36,5	34	31,5	29	26,5

man in obiger Formel für D und D' die Ablesungen des Com- Hundertsteln des Millimeters Quarz, so hat man $a = 8{,}62$ zu a'

	bei 10°	bei 20°	bei 30°
′	3,36	2,93	2,6

ı z. B. bei 20° Temperatur vor der Behandlung mit Säure 80, 40,6 abgelesen, so entspricht diess einer Zuckerlösung von

$$\frac{120{,}6}{8{,}62 + 2{,}93} = 10{,}4$$

lt.

t immer vorausgesetzt, dass die Ablenkungen durch eine Säule limeter Länge hervorgebracht wurden. Wäre nur Rohrzucker ng gewesen, so würde die erste Ablösung = 90 Theile, die ,6 Theile ergeben haben.

Faraday hat die Entdeckung gemacht, dass Substan- ıe an und für sich die Schwingungsebene des Lichtes ın, wie z. B. Flintglas, diese Fähigkeit unter Einwirkung

benachbarter Magnetpole oder des electrischen Stromes an
Man bringt die Substanz zwischen zwei Magnetpole, oder
sie mit einer Kupferspirale und lässt den polarisirten Li
parallel der Axe des Magneten oder der Spirale durchgel
der Richtung des Stromes ändert sich auch die Richtung
hung. Ihre Stärke ist gering gegen die Drehung solcl
stanzen, welche an sich optisch wirksam sind; sie verl
übrigens der Stromstärke proportional.

Die Drehungen an sich optisch wirksamer Substanz
z. B. von Terpentinöl, können durch den elektrischen St
nach der Richtung desselben, verstärkt oder geschwächt
Die Zu- oder Abnahme der Drehungswinkel für die einzel
benstrahlen bleibt hierbei der anfänglichen Grösse dersel
portional.

592. Chemische Wirkungen des Lichtes. -
man das Licht als einen Bewegungszustand des Aethers
eingeleitet durch die Schwingungen, in welche die m
Moleküle bei dem Glühen und dem Verbrennungsprocess
then, so kann es nicht überraschen, wenn man wahrnim
chemische Verbindungen durch Bestrahlung in ihrem
geändert, oder aufgelöst werden können. Der Einfluss de
auf die Vegetation, das Bleichen vieler Farben im Son
sind Thatsachen, deren Beobachtung einem Jeden leicht
lich sind. Gegen Ende des 18ten Jahrhunderts bewiess S
die Zersetzung bestimmter chemischer Verbindungen d
Licht. Man weiss jetzt, dass Chlor sich mit Wasserstoff,
ölbildendem Gase nur unter dem Einfluss des Lichtes ve
dass unter demselben Einfluss Chlor das Wasser bei gew
Temperatur zersetzt und Salpetersäure in Sauerstoff un
salpetersäure zerfällt, dass Metalloxyde reducirt werden,
Metall und Hyperoxyde zerfallen.

Die meisten Silbersalze werden vom Lichte geschwä
grösste Empfindlichkeit beweisen die Chlor- Jod- und B
bindungen des Silbers gegen das Licht. Auch sie schwärz
ohne dass jedoch bis jetzt mit Bestimmtheit nachgewiese
worin die Umänderung besteht, welche jene Salze hierbe
ren. Gewiss ist nur, dass sie nach stattgefundener Ein
des Lichtes in hohem Grade die Fähigkeit erlangen, Quec
dämpfe an ihrer Oberfläche zu verdichten; und gerade
gründet sich die schöne Methode Daguerre's, getreue
dungen von beleuchteten Gegenständen allein durch die W
des in der camera obscura entworfenen Lichtbildes auf
Silberplatten darzustellen. Nachdem die Einwirkung des
die gehörige Zeit gedauert hat, wird die jodirte Silberp
eine Atmosphäre langsam sich entwickelnder Quecksilbe
gebracht. Die durch das Licht veränderten Stellen verdicl

ɔrzugsweise und das an den feinen Quecksilberthöilchen Licht, giebt diesen Stellen ein weisses Ansehen, wäh- ichattenparthieen, nachdem man das unveränderte Jodsil- terschwefligsaurem Natron weggenommen hat, durch die tallfläche dargestellt werden. Ein dünner Ueberzug von itzt das Bild vor der Zerstörung, welche ausserdem leiseste Berührung herbeigeführt wird.

mselben Jahre (1839), in welchem Daguerre seine ·findung bekannt machte, veröffentlichte Talbot ein , Lichtbilder auf Papier darzustellen. Ein feines Papier, ıit einem Ueberzug von Jodsilber vermischt mit Lösung tersaurem Silberoxyd versehen ist, wird der Bestrah- r dunkeln Kammer ausgesetzt und dann in einem dun- ıe in eine Lösung von Gallussäure gebracht. Es entsteht uction des Silbers an den durch das Licht veränderten ı negatives Bild, in welchem die Lichter schwarz, die arthieen des Gegenstandes hell erscheinen. Dasselbe wird erschwefligsaures Natron von allem lichtempfindlichen befreit, in reinem Wasser gewaschen und getrocknet. ɘllung positiver Bilder wird das negative auf eine mit r überzogene Papierfläche zwischen Glasplatten aufge- ler Wirkung der Sonnenstrahlen so ausgesetzt, dass durch das negative Bild zum Chlorsilber gelangen kön- Schwärzung tritt nur unter den hellen Stellen des nega- es ein, das Bild kehrt sich um und wird somit den ı Gegenständen entsprechend. Das positive Bild wird mit unterschwefligsaurem Natron fixirt.

an ein Papier von so gleichmässiger und hinreichend inender Masse, wie es zu den negativen Bildern erfor- nur schwer findet, so hat man es durch Anwendung weissschichten und neuerdings durch einen dünnen von Collodion auf Spiegelglas zu ersetzen gewusst.

alle Farbenstrahlen äussern einen gleichen chemischen : blauen und violetten Strahlen sind ungleich wirksamer ıder brechbaren, und ausserhalb des violetten Endes des es gibt es noch, wie zuerst Ritter und Wollaston sichtbare Strahlen, welche sehr kräftig auf chemische gen einwirken. Unter einem blauen Glase dem Sonnen- ;esetzt, schwärzt sich Chlorsilber in wenigen Minuten, n rothen oder gelben Glase ist es nach tagelanger Bestrah- nicht merklich verändert.

ier glaubt sich überzeugt zu haben, dass die chemische les Lichtes von einer Absorption unzertrennlich und proportional sei. Bei prismatischer Zerlegung des Lich- es durch eine Lösung gegangen war, auf welche es l wirkte, fand Draper immer den Strahl am stärksten

absorbirt, welcher die kräftigste chemische Wirkung äussert. Ein Strahl, welcher durch Chlorwasser ging, bringt in einer zweiten Schichte der nämlichen Substanz keine Zersetzung mehr hervor.

Während bei Einwirkung der Wärmestrahlen sich die molekularen Schwingungen nach allen Seiten hin auf die benachbarten Moleküle übertragen, findet eine solche Uebertragung der chemischen Wirkung nicht statt und gerade hierdurch ist die ausnehmende Schärfe der photographischen Bilder bedingt.

XIII. Von der strahlenden Wärme.

593. Die Fortpflanzung der Wärme durch Strahlung beruht auf Gesetzen, die mit denen der Fortpflanzung des Lichtes die allergrösste Aehnlichkeit haben. Da aber die ersteren viel weniger in die Sinne fallen als die letzteren, so war eine genaue Beobachtung und Darlegung derselben mit ungleich grösseren Schwierigkeiten verknüpft. Auch würden die Eigenschaften der Wärmestrahlen ohne die vorausgegangene Kenntniss entsprechender Eigenschaften der Lichtstrahlen, sich zum Theile wohl für immer der Beobachtung entzogen haben.

Jedermann weiss, dass glühende Körper aus der Entfernung, also durch Strahlung (No. 47), Wärmeeindrücke hervorbringen können. Weniger leicht fällt es auf, dass die Körper auch bei Hitzegraden, wobei sie nicht leuchten, ja dass sie bei jeder Temperatur das Vermögen besitzen, Wärme durch Strahlung auszusenden. Mit Hülfe empfindlicher Thermoscope gelingt es jedoch diese bemerkenswerthe Eigenschaft der Körper auf's überzeugendste darzuthun.

Wir besitzen in dem Thermomultiplikator (No. 427) ein Differenzialthermometer von äusserster Empfindlichkeit, welches in hohem Grade geeignet ist, das Wärmestrahlungsvermögen (Emissions-Vermögen) auf die Probe zu stellen. Gesetzt die beiden Flächen der Thermosäule seien von ganz gleicher Oberflächenbeschaffenheit, am besten, mit einer dünnen Lage Lampenschwarz überkleidet; man richte die eine Fläche, z. B. die linke, gegen eine Wand von beständiger Temperatur und stelle in einiger Entfernung von der andern, also der rechten, die um eine höhere Empfindlichkeit zu erzielen, mit ihrem conischen Reflector versehen sein kann, irgend einen erwärmten Körper auf: sei es eine Kerzenflamme, eine heisse Metallplatte, ein Glas- oder Porzellangefäss mit heissem Wasser gefüllt, die flache Hand oder

mer sonst für ein Körper, dessen Temperatur diejenige der
berstehenden Wand übertrifft. Die Nadel des Galvanome-
rd in allen Fällen einen Ausschlag zeigen und zwar stets
ne einer Temperaturerhöhung der dem wärmeren Körper
hrten Fläche der Thermosäule. Richtet man dagegen die-
läche gegen einen kälteren Körper, z. B. gegen eine Eis-
der gegen den klaren nördlichen Himmel, so wird die Na-
bald nach der andern Seite ausweichen, eine Abkühlung
end.

i der ersten Versuchsreihe hatte die rechte Fläche der Ther-
e Wärme durch Strahlung von Aussen empfangen; bei der
ı Reihe musste sie nach Aussen abgegeben haben.

ese Versuche belehren uns, dass, **so oft zwei Körper
ngleicher Temperatur einander gegenüber-
n, der kühlere von dem wärmeren, Wärme durch
ung empfängt.**

r könnte nicht die Luft diesen Uebergang durch Leitung vermittelt
Dem widerspricht, dass die Luft zu den schlechtesten Leitern ge-
ıs gleichwohl die Wirkung auf die Thermosäule eine augenblick-
retende ist und dass sie in der Hauptsache dieselbe bleibt, ob nun
irkung von unten, von oben oder von der Seite stattgefunden hatte.
findet man, dass die Körper selbst im Vacuum der Luftpumpe,
jedem andern Wärmeeinflusse ausser dem der Strahlung fast voll-
entzogen sind, mit Schnelligkeit jedem äusseren Temperaturwechsel
sich erwärmen, wenn sie von höherer Temperatur umgeben sind,
umgekehrten Falle sich abkühlen.

4. Zwei Kerzenflammen einander gegenüber gestellt, sen-
h Licht zu, auch wenn sie ganz gleichen Glanz besitzen.
Kerzenflamme, obschon im Sonnenschein nur wenig sicht-
ört selbt dann nicht auf nach allen Richtungen und sogar
die Sonne hin Licht auszustreuen. Die Analogie leitete zu
lgerung, dass das Vermögen der Körper Wärme auszu-
n, in gleicher Weise von der Wärmebeschaffenheit der Um-
ganz unabhängig ist; oder mit andern Worten ausgedrückt:
**örper strahlen Wärme zu jeder Zeit und bei
rschiedensten Temperaturgraden, welche sie
und ihre Umgebung besitzen.** Diese Wärmemit-
nimmt zu mit der steigenden Temperatur, und so kommt
s ein Körper in kühlerer Umgebung weniger zurückerhält
bgibt, folglich sich selbst abkühlen muss, während er in
hbarschaft wärmerer Körper weniger gibt als ihm zufliesst.
zwei Körper gleiche Temperatur, so bleibt Gewinn und Ver-
beiden Seiten gleich.

ese Theorie eines ununterbrochen fortdauernden Austau-
ler Wärme durch Strahlung nennt man das **Prinzip des
glichen Gleichgewichtes der Wärme.** Dasselbe
n **Prevost**, einem Genfer Naturforscher aufgestellt
l.

Die feste und flüssige Erdoberfläche strahlt unausgesetzt gegen den Himmelsraum. Zur Tageszeit findet aber in Folge der Wirkung der Sonne ein grösserer Zufluss statt. Dadurch steigt die Gegen Abend und zur Nachtzeit überwiegt der Verlust der Folge ist eine allmählig fortschreitende Abkühlung. Die Wolken wie jeder andere Körper. Bei bewölktem Himmel empfängt die fläche einen grossen Theil der Wärmeabgabe wieder zurück und dann weit langsamer ab als bei klarer Luft. So erklärt es sich stärksten Nachtfröste bei Mondschein oder sternenhellem Himmel

593. Die Körper können bei ganz gleicher Tem sehr ungleiches Ausstrahlungs-Vermögen besitzen. z. B. der folgende von Leslie angegebene Versuch Thermosäule und in einer für die Empfindlichkeit der messenen Entfernung werde ein kubisches Gefäss Blechwänden aufgestellt, worin man Wasser mittelst de lampe auf einer gewissen Temperatur z. B. der Sied Die vier Seitenwände des Gefässes sind mit den Subst zogen deren Ausstrahlungsvermögen verglichen werde die Säule ist vor der direkten Einwirkung der Spiritu wie überhaupt jeder andern Wärmequelle durch Sc schützt. Indem man nun nach einander die verschieden des Gefässes, unter gleichem Abstande, der geschwärz der Säule zugekehrt, werden verschiedene Ablenkung del beobachtet, deren ablenkende Kräfte das Verhältn gleichen Wärmestrahlung bezeichnen. Auf diese Weis folgenden Zahlen gefunden worden.

Kienruss	100	Firniss	
Bleiweiss	100	Eisen, polirt	
Hausenblase	91	Gold, Kupfer	
Glas	90	Silber, polirt	
Graphit	86		

Dieses Zahlenverhältniss scheint sich bei niedriger Tem Wärmequelle nicht merklich zu ändern; d. h. wenn man die mit ratur im Allgemeinen abnehmende Ausstrahlung des Kienrusses 100 bezeichnet, so wird sich für Bleiweissanstrich ebenfalls u. s. w. Bei stärkerer Erhitzung zeigen sich aber mehr und lende Verschiedenheiten. Z. B. die Ausstrahlung der Bleiweiss mit der Temperaturerhöhung viel langsamer zu, als die Auss Kienrussfläche. Selbst beim Kienruss und bei polirten Metallfläche die grösste Regelmässigkeiten zeigen, scheint die Ausstrahlung mit der Temperatur fortzuschreiten.

Die Metalle und unter diesen wieder das Silber sind die Ausstrahler. Zu den Körpern, welche ein starkes Ausstrahl besitzen, gehören auch noch: Wasser, Dammerde, Holz, Gräser, Blätter, Wolle, Haare und im allgemeinen die organischen

Aus dem beschriebenen Versuchsverfahren geht hervor, Ausstrahlungsvermögen nicht sowohl von der innern Beschaffenheit als vielmehr von dem Zustande ihrer Oberfläche abhängt. Es ist sehr begreiflich, dass Metalle sogleich mehr Wärme ausstrahlen, Oberfläche verunreinigt wird, z. B. durch Firnissen, Färben, oder anflug. Der Graphitanstrich, den man unseren eisernen Öfen

s man sieht, ein nothwendiges Erforderniss, um sie ihrem
chst viel Wärme auszustrahlen, anzupassen. . . . . .

änderungen in der Dichtigkeit der Oberfläche verändern die
So strahlt eine gegossene oder durch galvanischen Nieder-
ne Silberplatte besser, als eine gehämmerte oder gewalzte
n der Oberfläche dichter gewordene. Wurde aber die gehäm-
he mit Smirgelpapier aufgerissen und dadurch die innere wei-
anz oder doch theilweise blosgelegt, so stieg das Ausstrah-
fast auf das doppelte. Das Aufritzen einer glatten Ober-
und für sich keinen Einfluss auf die Quantität der Ausstrahlung
ier auch nicht das Vermögen solcher Körper, deren Oberfläche
ur keine Verdichtung erfährt, wie Holz, Elfenbein, Marmor.
ler letzteren Art und dahin gehören fast alle nicht metalli-
mag nun seine Oberfläche glatt und glänzend, oder uneben,
rissen sein, ändert sein Ausstrahlungsvermögen nur mit der

ität der Ausstrahlung für eine gegebene Temperatur beruht
manchen Körpern nicht ausschliesslich auf der Wirkung der
rfläche, sondern auch die tieferen Schichten tragen in abneh-
dazu bei. So findet man, dass die Ausstrahlung einer Metall-
en dünnsten Firnissanstrich zwar sogleich auffallend vermehrt
nn durch mehrmalige Wiederholung des Anstrichs die Schnel-
irmeabgabe noch sehr merklich gesteigert werden.

ratur der kräftigsten Ausstrahler muss begreiflich während
i Abkühlung am schnellsten und tiefsten sinken, sogar tiefer,
gebende Luft, weil letztere zu den schlechtesten Strahlern
is erklärt es sich, warum die frischen Triebe und Blüthen in
nächten so leicht und selbst in Fällen erfrieren, in welchen
r der Luft nicht unter 0° gesunken war. Auch wird man jetzt
rum mässige Luftbewegung, wobei die erkaltende Pflanze
s Wärmeverlustes durch die vervielfältigte Berührung mit der
i Luft wieder erhalten, warum ferner eine etwas höhere Lage,
Himmel und überhaupt jede noch so lockere Bedeckung, z. B.
ter oder Stroh, den Pflanzen Schutz gegen das Erfrieren ge-

sich klar, dass die Abkühlung der Körper auf die sie un-
ebende Luftschicht zurückwirken, und diese folglich ihrem
her bringen, d. h. sie relativ feuchter machen muss. Das Ab-
gen der Körper für die Luftfeuchtigkeit wächst in dem Grade,
e Trockenheit der Luft abnimmt.
en werden also schon durch den Process der nächtlichen Ab-
wenn die Witterung im Allgemeinen trocken ist, befähigt,
i für ihr Gedeihen erforderlichen Wassers aus der Luft aufzu-

Temperatur eines Körpers, durch Ausstrahlung unter den
ihn umspielenden Luft (No. 265), so tritt er ganz in das Ver-
eliebigen andern kalten Körpers, den man in wärmere und
ingt; er beschlägt sich mit Thautropfen, oder wenn seine
i unter den Gefrierpunct gegangen war, mit Reif. Die Pflan-
es starken Ausstrahlungs - Vermögens sind vorzugsweise em-
mit Thau oder Reif zu beschlagen. Die bekannte Erscheinung,
in heiteren Nächten am reichlichsten fällt, bei dicht bedeck-
ber ausbleibt, dass er sich auf den oberen, frei gegen den
eten Seiten der Blätter, am stärksten absetzt, dass die unter
i Bäumen wachsenden niederen Pflanzen grösstentheils davor
, bedarf nach dem Vorausgegangenen keiner nähern Erläu-

Newton hatte den Satz aufgestellt, dass die Schnelligk Abkühlung eines erwärmten Körpers, dem Unterschiede eignen Temperatur und derjenigen der Umgebung proportio Dass z. B. bei einer Temperaturabstufung von 40° ein Kö gleichen Zeittheilen noch einmal so viel verliere, als wenn um 20° wärmer sei, als seine Umgebung.

Diese Regel, für mässige Temperaturunterschiede al richtig, lässt sich jedoch nicht auf die Abkühlungsgeschwi stark erhitzter Körper anwenden; deren Wärmeverlust n genauesten Beobachtungen von Dulong und Petit (A phy. VII. 225) selbst im leeren Raume, und frei von jedem Einflusse, ausser dem der Strahlung, in steigender Progres nimmt, je stärker sie vorher erwärmt waren.

596. Die Wirkung der Wärmestrahlen, ihre wärmend vermindert sich bei zunehmendem Abstande der Quelle in kehrten Verhältnisse zum Quadrate dieses Abstandes. Z rung des Grundes hat man nur Wort für Wort zu wied was bezüglich des ganz gleichlautenden Gesetzes der A der Lichtwirkungen gesagt worden ist.

Einen experimentellen Beweis hat Melloni (la Thermochro durch den folgenden Versuch gegeben. Die eine senkrechte S eines grossen Wasserbehälters (von 4—5 Cent. Seite) in welchem ser auf einer beständigen Temperatur von etwa 40° erhielt, w schwärzt, und derselben aus mässigem Abstande die eine Fläche mosäule zugekehrt, deren cylindrischen Ansatz man auf der inn ebenfalls mit Lampenschwarz überzogen, oder auch mit Papier hatte, um die Wirkungen der Reflexion möglichst abzuhalten. E ein Ausschlag der Galvanometernadel, dessen Grösse sich nich wenn man die Säule der Wand näherte oder auch sie davon entf

Es sei S (Fig. 322) eine Löthstelle der Thermosäule, mn di des Cylinders, So die Entfernung der erwärmenden Wand, so is

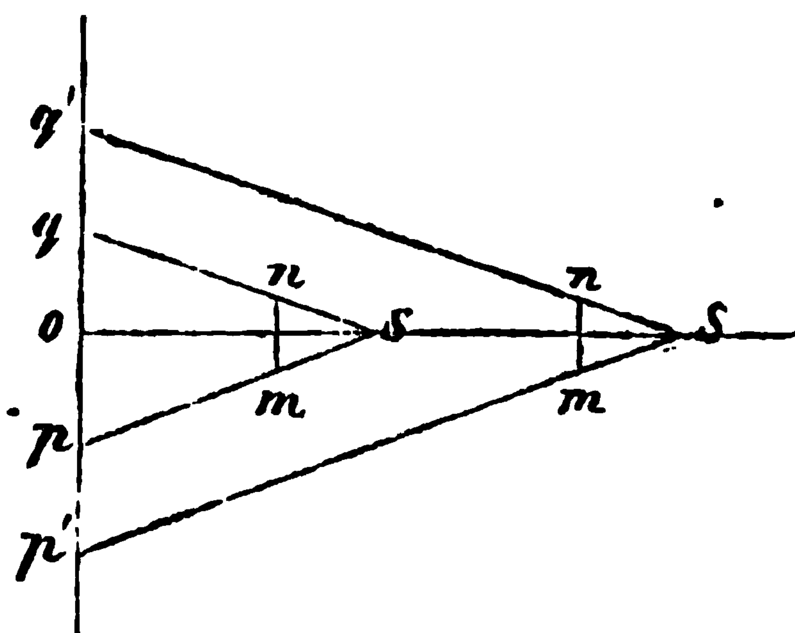


Fig. 322.

Durchmesser des Stückes derselben, dessen Strahlen bis zu d S gelangen können. Rückt man diesen Punct nach S', z. B. in d ten Abstand, so ist mit Beziehung auf das ausgesprochene Gesetz wärmende Kraft jeder Flächeneinheit der warmen Wand auf ¼

ler Durchmesser $q'p'$ der wirkenden Fläche ist aber jetzt noch ein- gross, also die Fläche selbst 4mal so gross. Die Wirkung musste h dieselbe sein wie vorher. Was nun für eine Löthstelle richtig ist, r alle an der vordern Fläche der Thermosäule.

:i dieser Anordnung des Versuchs blieb sich der Wärmezufluss zu der immer gleich. Es lässt sich nun die Frage aufwerfen, ob bei verän- Wärmezuflusse, die die Magnetnadel ablenkenden Kräfte der Kraft ärmestroms proportional bleiben. Diese Frage hat Melloni auf fol- Weise beantwortet: Eine in ihren Wirkungen sich sehr gleich blei- Wärmequelle von geringer Ausdehnung, (z. B. eine durch einen con- a electrischen Strom im Glühen erhaltene Platinspirale) wurde vor Thermomultiplicator in verschiedenen genau gemessenen Abständen tellt, und jedesmal die Ablenkung der Nadel bemerkt. Waren nun ärmeaufnahmen der Säule den auffallenden Strahlenmengen proportio- mussten die ablenkenden Kräfte sich verhalten, verkehrt wie die ate der zugehörigen Abstände der Platinspirale, von der zugewende- 'andfläche der Säule. Und so fand es sich in der That.

597. Nicht alle Wärme, welche strahlend die Oberfläche eines ›rs trifft, wird verschluckt und in fühlbare (auf das Thermo- ' wirkende) Wärme verwandelt. Ein mehr oder weniger ıer Theil wird von jedem Körper, je nach der Natur seiner fläche zurückgeworfen. Einem dritten Theile gestatten manche er den Durchgang. Man nennt solche Körper: diathermane Worte diaphan, durchsichtig, nachgebildet) im Gegensatz en athermanen, welche keine Wärmestrahlen durch- n.

598. Die Zurückwerfung oder Reflexion der Wärme- en richtet sich auf das Genaueste nach den Gesetzen, nach ıen die Zurückwerfung des Lichtes stattfindet. Die Richtig- lieses Satzes lässt sich mit Hülfe des Hohlspiegels einer sehr fen Probe unterwerfen. Man richte einen sphärischen Metall- el (von Silber, von Spiegelmetall oder auch von Messing) n die Sonne. Sogleich wird man bemerken, dass an der Stelle las Sonnenbildchen entsteht, im Brennpuncte, eine sehr Temperatur herrscht, Es ist also gewiss, dass die Wärme- en der Sonne nach demselben Gesetze wie die Lichtstrahlen tirt und in dem Brennpuncte verdichtet worden sind.

le Hitze, welche bei hohem Stande der Sonne und an sehr hellen Ta- a Brennpuncte eines guten und grossen Hohlspiegels (Brennspiegels) ;t werden kann, ist die höchste, welche sich überhaupt hervorbringen — Bekanntlich haben die Florentiner Akademiker mit Hilfe eines n Brennspiegels zuerst (1694) die von Newton vorausgesagte Ver- lchkeit des Diamants bewiesen, indem sie fanden, dass derselbe im des Spiegels allmählig verschwand.

)ie Strahlen irdischer Wärmequellen sind in ganz gleicher › wie die Sonnenstrahlen reflectirbar. Um diess zu zeigen man sich (wie zuerst der Genfer Physiker Pictet zeigte) ›genannten conjugirten Brennspiegel bedienen, d. h. zweier gleicher Brennspiegel (von etwa 15 — 18 Zoll Durchmesser l — 12 Zoll Brennweite), die so aufgestellt werden, dass

ihre Hauptaxen zusammenfallen. Bringt man dann in den Brenn-
punct des einen die Flamme einer Kerze, so werden die von der-
selben ausgehenden Strahlen von der Spiegelfläche parallel mit
der Axe zurückgeworfen. Dadurch gelangen sie zu der andern
Spiegelfläche und müssen sich, auch von dieser reflectirt in dem
Brennpuncte vereinigen. Aus der Temperaturerhöhung an dieser
Stelle erkennt man, dass zugleich mit der leuchtenden auch die
wärmenden Strahlen concentrirt worden sind.

Befindet sich in dem einen Brennpuncte eine hellglühende
Kohle, so entsteht eine so starke Hitze in dem andern Brenn-
puncte, dass leicht entzündliche Stoffe, wie Schiesspulver, Zünd-
schwamm, Zündhölzchen zum Aufflammen kommen. Aber auch
die von nicht leuchtenden Körpern ausstrahlende Wärme lässt sich
auf dieselbe Weise verdichten. Setzt man z. B. ein Gefäss mit
heissem Wasser in den einen Brennpunct, die geschwärzte Kugel
eines Luftthermoscops (No. 49) in den andern, so zeigt sich die
Einwirkung in demselben Augenblicke, da man einen Schirm, der
den einen oder andern Spiegel bedeckte, wegzieht. Eis an die
Stelle des heissen Wassers gebracht, macht seinen Einfluss zu-
gleich dadurch geltend, dass in dem andern Brennpuncte die Tem-
peratur merklich heruntergeht.

599. Aus dem Verhalten des Brennspiegels gegen die Wär-
mestrahlen ergibt sich als nothwendige Folge, dass die Wärme
auch von ebnen Metallflächen, und zwar mit gleicher Regelmäs-
sigkeit wie das Licht reflectirt wird, und dass in Folge dieser Re-
flexion gleichsam ein Bild der Wärmequelle entsteht, in ähnlicher
Art und sogar an derselben Stelle, wo das Lichtbild erscheint.
Ausser dieser regelmässig reflectirten Wärme wird von jedem
Körper, je nach dem Grade seiner Glätte ein mehr oder weniger
grosser Theil der einfallenden Strahlen durch die Zurückwerfung
zerstreut.

Polirte Metallplatten reflectiren einen grossen Theil aber doch
nicht die ganze Menge der einfallenden Wärmestrahlen. Z. B. vom
Messing, woraus man gewöhnlich die Brennspiegel verfertigt,
werden nicht mehr als 65 Prozent der einfallenden Wärme regel-
mässig zurückgeworfen. Silber und Gold reflectiren besser,
Kupfer weniger gut. Nichtmetallische Körper wie Marmor, Glas,
Bergkrystall besitzen selbst bei der besten Politur ein geringes
Vermögen, die Wärme regelmässig zu reflectiren. Eine mit Lam-
penschwarz bedeckte, sonst ebne Fläche reflectirt fast gar keine
Wärme. Im Allgemeinen vermehrt sich die Menge der reflectirten
Wärme mit der Grösse des Einfallswinkels.

Zur näheren Prüfung dieser verschiedenen Erfahrungs-Ergebnisse kann man sich der in Fig. 8 Pl. VI. dargestellten Geräthschaft bedienen*).

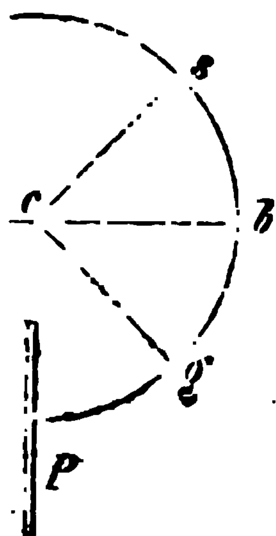
---

*) Ann. d. Pharm. XXXII. 163.

ı Grade getheilte Scheibe ist mit Schraubenfüssen versehen, ntal einstellen zu lassen. Aus ihrem Mittelpuncte erhebt sich Träger, auf welchem ein Tischchen ruht, an dessen vorderer über der Mitte der Scheibe, eine senkrecht gestellte, durch-ngplatte festsitzt, welche mit einer dicken Lage von Lam-deckt ist. Unmittelbar gegen diese Platte lehnt sich die ne, so dass die Spiegelung auf das hinter der Oeffnung be-enstück beschränkt ist. Zwei bewegliche in Linien getheilte den Mittelpunct der Kreisscheibe drehbar; sie tragen aufrecht-er Richtung des Radius verrückbare Halter. Auf einem der-e Wärmequelle, auf dem andern die Säule, beide genau in mit der Oeffnung in der durchbrochenen Platte.

ab (Fig. 323) die Richtung des Spiegels; die Halter *cf* und estellt, dass sie mit der Spiegelebne gleiche Neigung haben. Ueber dem Puncte *f* befinde sich die Säule, über *g* die Wärmequelle und zwischen beiden ein Schirm *P*, der den direkten Uebergang der Wärme hindert, so können nur solche Wärmestrahlen bis zur Säule gelangen und eine Wirkung auf die Nadel hervorbringen, welche durch die Reflexion bei *c* eine solche Richtung bekommen haben, als kämen sie vom Puncte *s* her. Man stelle sodann den Halter *cg* sammt der Wärmequelle darüber in die Lage *cs* und entferne den Spiegel, so wird die Säule genau aus derselben Entfernung von den direkten Strahlen getroffen, aus welcher sie vorher den Eindruck der reflectirten Wärme erhielt. Die Ablenkung der Nadel wird jetzt grösser sein als vorher, und das Verhältniss beider ab-fte entspricht dem der absoluten Menge ausgesendeter Strah-tät der Reflexion.

323.



erhältniss der Reflexion bei verschiedenen Einfallswinkeln un-önnen, muss die durchbrochene Scheibe von der Spiegelebene a.

bachter glauben gefunden zu haben, dass die Wärmereflexion i zunehmendem Einfallswinkel sich vermindere, also gerade n Verhalten nichtmetallischer Stoffe und dem Gesetze der Licht-ist indessen wahrscheinlich, dass dieses Resultat eine Folge n sehr gut polirten Metallplatten häufig noch wahrnehmbaren h deren Einfluss beim schiefen Einfalle die Strahlen etwas werden. Auf dem reinen Quecksilberspiegel bemerkt man irösse des Einfallswinkels ganz unzweideutige, wenn auch, andern Metallen, sehr langsame Zunahme der Reflexion.

Körpern ändert sich, gleichen Einfallswinkel vorausgesetzt, Reflexion mit der Natur der Wärmequelle. Z. B. eine polirte mit einer Lage Firniss überzogen, dessgleichen Marmor, ro-ichtiges Glas, Schellack, reflectiren die Wärme der Oelflamme von einem auf 400° erhitzten Kupferblech ausgehenden Strah-sser dagegen, Achat, Glas werfen die von mässig erwärmten sendeten Strahlen besser zurück, als die der Oelflamme. Die en die von Wärmequellen aller Art abstammenden Strahlen eich gut zu reflectiren, und Kienruss, womit man die Löth-ermosäule schwärzt, hält fast alle Wärmestrahlen, wo sie ıen mögen, zurück.

ıe grosse Anzahl Körper lassen Wärmestrahlen durch.

Diese Eigenschaft hält jedoch bei den meisten nicht gl Schritt mit ihrer Durchsichtigkeit. Man verschaffe sich z. B. farblose und gleich dicke Scheiben von Steinsalz, Flus Spiegelglas, Gypsspath, Citronensäure, Alaun und Eis, und sie nach einander zwischen die Thermosäule und eine nic sende Oelflamme ohne Glasschornstein*); man wird finde diese verschiedenen Körper, die sich doch gegen das Lic gleich verhalten, die Wärme in sehr ungleichen Verhäl durchlassen.

Nach Melloni's Beobachtungen gingen von je 100 ei den Wärmestrahlen durch

Steinsalz . .	92
Flussspath . .	78
Spiegelglas . .	39
Gypsspath . .	14
Citronensäure .	11
Alaun . . .	9
Eis	6

Während also das Steinsalz Licht und Wärme mit Leichtigkeit durchlässt, zeigt sich das eben so durchsich fast atherman. Dagegen findet man, dass schwarzes G schwarzer Glimmer bei vollkommener Undurchsichtigk Wärmestrahlen in ziemlicher Menge den Durchgang gesta

601. Beim Uebergang aus einem Mittel in das andere die Wärmestrahlen gleich den Lichtstrahlen gebrochen Ma ein Prisma von Glas, oder besser von Steinsalz von ziemlic nem Winkel vor die Oeffnung der durchbrochnen Platte (Fi so dass es dieselbe gegen die von s einfallenden Wärme schliesst; man wird keine Einwirkung auf die bei f in de den Linie $s\,c\,f$ befindliche Säule wahrnehmen. Bewegt m den Stab $c\,f$ nach der, der brechenden Prismakante entge setzten Seite, so werden bei einer gewissen Grösse des die aus ihrer früheren Richtung abgelenkten Strahlen wie den Lichtstellen gelangen. Es ist leicht zu zeigen, dass die kung mit der Grösse des Einfallswinkels ebenfalls zunim wie dass bei einer gewissen Richtung der einfallenden S dieselben von der Hinterfläche des Prisma's total zurückge werden.

602. Die Wärmestrahlen besitzen gleich den Lichts eine ungleiche Brechbarkeit und breiten sich daher, nach

*) Wegen der lange anhaltenden Gleichförmigkeit ihrer Flam geeignet zu diesen Versuchen ist die Lokatelli'sche Lampe, wel von anderen Oellampen ohne Glasschornstein durch die prismatische des Dochtes unterscheidet.

h das Prisma gegangen sind, über die ganze Fläche des Farbildes und selbst noch in dem dunklen Raume darüber, aus. auffallendsten bemerkt man diess bei den Sonnenstrahlen, n man sie auf einen schmalen und hohen Spalt im Laden eines unkelten Zimmers leitet und ein Steinsalzprisma davorsetzt. l dann die Fläche einer schmalen und verhältnissmässig ho-Thermosäule nach und nach gegen die verschiedenen Farbenfen gerichtet, so zeigt sich überall eine Wärmewirkung, die ch vom Violett nach dem Roth hin zunimmt und über dem t hinaus im dunklen Raume ihr Maximum erreicht. Melloni dieses Maximum vom letzten Roth des Lichtspectrums wetens eben so weit entfernt, als in umgekehrter Richtung das ıblau vom Roth. An dieser Stelle fallen also die Wärmestraham dichtesten ein; oder unter den verschiedenen Wärmehlen der Sonne sind diejenigen von dieser mittleren Brechbarin verhältnissmässig reichlichster Menge vorhanden.

Andere Wärmequellen liefern ein viel weniger ausgedehntes mespectrum und im Allgemeinen findet man, dass die stärker hbaren Strahlen mehr und mehr fehlen, je niedriger die Temıtur der Quelle ist. Wärmestrahlen die von einem Körper von Temperatur des siedenden Wassers ausfuhren, sind selbst ıiger brechbar als die äussersten rothen Lichtstrahlen.

Auch die Beschaffenheit des brechenden Mittels ist von Ein-s. So findet man, dass das Maximum der wärmenden Kraft Sonnenspectrums bei Anwendung eines Prismas von Flintglas zwar immer noch im dunklen Raume befindet, aber jetzt ganz e beim letzten Roth. Bei Prismen von Crownglas im Roth ist, bei hohlen Prismen gefüllt mit Schwefelsäure im Orange wenn sie mit Wasser gefüllt sind, im Gelb.

Da diese verschiedenen Mittel erfahrungsmässig auch weni- Wärme durchlassen als das Steinsalz, so sieht man nun deut-, dass ihre Wirkung, bei den einen mehr, bei den andern wer, darin besteht, dass sie die Wärmestrahlen von geringer hbarkeit verschlucken. Damit stimmt auch das übrige Verten dieser Körper überein.

Eine klare Steinsalzplatte von 2,6mm Dicke liess von 100 einnden Strahlen jedesmal 92 durchgehen, gleichgültig von cher Quelle sie abstammten. Mit einer gleich dicken Platte von gelglas wurden folgende Resultate erhalten:

Wärmequelle:	Durchgelassen von 100 Strahlen:
antische Lampe mit Glasschirm . .	62
telli'sche Lampe	39
ende Platinspirale	24
chwärztes Kupferblech auf 400° erhitzt	6
— auf 100° erhitzt	0

Die Diathermanität des Glases erstreckt sich also hau lich auf Strahlen von grosser Brechbarkeit. Gegen Strahl geringer Brechbarkeit, wie sie aus dem heissen Wasser von ist es atherman. Es verhält sich gegen dieselben, w kelblaues Glas gegen gelbes und rothes Licht. Gyps, C säure, Alaun, sind selbst gegen die, von dem bis zu 400° e Kupferblech, ausgehenden Strahlen atherman. Eis und Wa der grössten Klarheit lassen nur die allerbrechbarsten dur

Die diathermanen Mittel verhalten sich also gegen mestrahlen, ähnlich wie gefärbte Gläser gegen das Lich rend sie Strahlen von gewisser Brechbarkeit durchlassen, atherman für Strahlen von anderer Brechbarkeit. Jeder gleichsam seine eigenthümliche **Wärmefarbe**. (**Diathe sie**).

Unter den bis jetzt geprüften Körpern haben sich nur Luft u salz als vollkommen diatherman, gleichsam farblos gegen die strahlen gezeigt. Auch findet man, dass Strahlen aller Art durch sten Steinsalzplatten, Farblosigkeit und Klarheit vorausgesetzt, derselben Leichtigkeit fahren, wie durch ganz dünne. Stehen mehr salzplatten hinter einander, so veranlasst jede einen kleinen Verl Reflexion und zwar jede denselben verhältnissmässigen Theil der menge, nämlich 7—8 Procent.

Bei andern, in Folge ihrer Wärmefarbe nur unvollkommen di nen Mitteln, ist die Dicke der Platte nicht ohne Einfluss auf die M durchgehenden Strahlen. Doch bemerkt man, dass der Verlust d sorption hauptsächlich in den vordersten Schichten stattfindet, und sich bei zunehmender Dicke der Platte mehr und mehr einer gewisse nähert. Man stelle z. B. eine ziemlich dicke, aber klare Glasplat mehrere dünnere hintereinander in genügendem Abstande von der electrischen Säule auf, und nähere die Lampe bis man einen Ausse 30° erhalten hat. Man stelle dann noch eine Glasplatte vor die ber handenen. Die Nadel wird höchstens um einige Grade zurückgehe alle Strahlen, deren Wärmefarbe mit der des Glases nicht überei waren bereits verschluckt worden; durch die neu hinzukommend konnte daher nur noch ein kleiner Verlust durch Zurückwerfung e Ganz gleich verhalten sich die durch Glas gefahrenen Strahlen g dere diathermane Mittel, wenn diese wie Bergkrystall und Kalks selbe Wärmefarbe wie das Glas, oder wie Flussspath und Steinsa noch vollkommneren Grad der Diathermanität besitzen.

Setzt man dagegen eine klare Alaunplatte zwischen die Säule aus dem Glase tretenden Wärmestrahlen, so geht die Nadel, wel Annahme auf 30° stand, bis auf 7 oder 8° zurück; als Beweis, Wärmefärbung des Alauns von der des Glases abweicht. Entfe hierauf alle Glasplatten, welche den direkten Zutritt der Wärmestral Alaun verhinderten, so wird dennoch die Ablenkung der Nadel ka mehrt werden.

Es geht hieraus hervor, dass der Alaun keine Strahlen du welche nicht auch durch Glas gehen können, während er für viel man ist, die das Glas ungeschwächt zu durchfahren vermögen.

Ein durch Kupferoxyd gefärbtes grünes Glas vor die Alaunpl stellt, hemmt allen Wärmedurchgang, obschon das grüne Glas für d therman ist. Beide Körper stehen also zu den Wärmestrahlen in ä Beziehung wie rothes und grünes Glas gegen das Licht. Auch zwischen parallelen Platten von grünem Glase eingeschlossen uff

lloni den Durchgang der strahlenden Wärme so vollständig, dass ahlen, welche durch ein solches System gegangen waren, auf das eter nicht mehr einwirken, selbst wenn sie mittelst einer Linse bis ze des direkten Sonnenlichtes concentrirt werden.

eit Jahrhunderten bekannte Erfahrung, dass sich die wärmende Wir-Sonnenstrahlen durch optische Linsen (Brenngläser) concentriren rt für sich schon den Beweis, dass die Wärmestrahlen gleich den Lichtler Sonne brechbar sind. Will man jedoch auf diesem Wege eine mögsse Wärmeverdichtung erzielen, so muss man anstatt der Glasnsen von Steinsalz wählen, mit deren Hülfe Wärmestrahlen jeder inahe ohne Verlust, je nach der gegenseitigen Stellung der elle und der Linse, parallel oder convergirend gemacht werden

. Die Analogie der Wärmestrahlen mit den Lichtstrahlen t sich auch auf diejenigen eigenthümlichen Veränderungen tes, von welchen nur die Vibrationstheorie in befriedigense Rechenschaft zu geben vermag. Die Wärmestrahlen unter denselben Umständen wie die Lichtstrahlen ge-(Knoblauch) und bringen Interferenzfransen Fizeau und Foucault), welche mit denen des Lichtes enfallen. Sie erleiden, wie schon aus früheren Untersu- von Forbes und Melloni bekannt und durch neuere von Knoblauch, Desains und de la Provostaye ständlichste bestätigt ist, unter gleichen Verhältnissen wie tstrahlen die doppelte Brechung, und lassen sich sowohl eflexion und einfache Refraction, als auch durch die dopechung polarisiren. Diese Erscheinungen treten hervor, an an die Stellen, an welchen das Auge die ähnlichen nomene wahrnimmt, ein Thermometer von genügender lichkeit setzt. Selbst die Drehung der Polarisationsebne mestrahlen hat man sowohl durch Bergkrystall, Zuckerlö-erpentinöl, wie auch durch electromagnetische Einwirkung eführt. Turmalinplatten und Nikolsche Prismen als Mittel hlen zu polarisiren oder sie auf ihre Polarisation zu prüsen sich bei der Wärme ganz so wie bei dem Lichte be-Insbesondere bewirken nach Knoblauch die Nikolschen eine sehr vollständige Polarisation.

dieser nach allen Richtungen verfolgten und überall begefundenen Aehnlichkeit zwischen der Eigenschaft der nd Wärmestrahlen, lässt sich nicht bezweifeln, dass beide ichem Ursprunge sind. Und da es gegenwärtig ausge-it, dass die Fortpflanzung des Lichtes auf Aetherschwinberuht, so kann man, zumal bei Beachtung der vollkommereinstimmung der wärmenden Strahlen der Sonne mit den ern Quellen abstammenden, für die Wärmestrahlen nicht anderes Mittel der Fortpflanzung voraussetzen.

Verhalten des Wärmespectrums, der Umstand, dass bei der grösste und intensivste Theil desselben noch dies-

seits des äussersten Roth liegt, folglich aus Strahlen von sehr geringer Brechbarkeit besteht, scheint darauf hinzuweisen, dass diejenigen Aetherwellen, welche beim Eindringen in die Masse der Körper sich vorzugsweise in Wärme umsetzen, sich von den Lichtwellen nur durch grössere Länge unterscheiden, also durch geringere Schwingungsgeschwindigkeit der Aethertheilchen gebildet sind.

Dass sie in das Auge eindringend nicht das Gefühl von Licht hervorbringen können, würde daraus erklärbar sein, weil die Flüssigkeiten des Auges fast ausschliesslich aus Wasser bestehen, also die Strahlen von geringer Brechbarkeit verschlucken, ehe sie die Netzhaut erreichen können.

604. **Wärmestrahlen, die nicht reflectirt oder durchgelassen werden, werden verschluckt. Nur diese tragen zur Erwärmung bei.**

Bei athermanen Körpern stehen Reflexion und Absorption im umgekehrten Verhältnisse. Alles was das Reflexionsvermögen mindert, muss daher das Absorptionsvermögen vermehren. So wird das Absorptionsvermögen einer Metallplatte durch Firnissüberzug beträchtlich vergrössert; mit Lampenschwarz überzogen wird sie fast alle einfallenden Strahlen einsaugen und sich am stärksten erwärmen, weil sie in diesem Falle fasst nichts reflectirt. Den grossen Einfluss der Oberflächenbeschaffenheit auf das Einsaugungsvermögen haben schon Leslie und Rumford nachgewiesen. Melloni hat daraus ein einfaches Mittel abgeleitet, die Vermögen verschiedener Körper zu vergleichen.

Die Thermosäule wird mit ihrem conischen Reflector versehen. Man nimmt hierauf eine Anzahl dünner Messingscheiben, alle aus derselben Tafel geschnitten, deren Durchmesser den der äusseren Oeffnung des Reflectors wenig übertrifft; schwärzt sie auf der einen Seite und gibt ihnen auf der andern einen dünnen gleichförmigen Anstrich von der Materie, welche geprüft werden soll.

Diese Scheiben werden nach einander dicht vor dem Reflector an einem Halter (von Elfenbein, um die Ableitung der Wärme zu verhüten) so befestigt, dass sie ihre geschwärzte Seite der Säule, die mit der zu prüfenden Materie bedeckte, der Wärmequelle zukehren. Je nach der Fähigkeit der verschiedenen Oberflächen, die von derselben Quelle ausfahrenden Strahlen einzusaugen, werden nun die Scheiben mehr oder weniger erwärmt und veranlassen eine verhältnissmässige Ablenkung der Nadel.

So ist die folgende Tafel entstanden.

ıme ler rper	Natur der Wärmestrahlen			
	Glühendes Platin	Kupfer von 400° geschwärzt	Kupfer von 100° geschwärzt	Durch das Glas der Argantischen Lampe gefahren
s . . .	100	100	100	100
ss . .	56	89	100	21
›lase .	54	64	91	45
. . . .	95	87	85	100
ack . .	47	70	72	30
Metall-e . . .	13,5	13	13	17

Absorption des Kienrusses ist als Mass der Vergleichung gewählt, Wärme aus allen Quellen gleich wenig reflectirt, man daher schliese, dass sein Einsaugungsvermögen sich auf Wärmestrahlen jeder gleicher Vollständigkeit erstreckt. Man sieht nun aus dieser Tafel, reine Metallfläche sich gegen verschiedene Strahlengattungen unleich verhält. D. h. die Metalle sind farblos gegen die Wärme wie eisten gegen das Licht sind.
:re Stoffe absorbiren je nach ihrer eigenthümlichen Wärmefarbe brechbareren, bald die weniger brechbaren am vollständigsten. z B. absorbirt die von der Siedhitze des Wassers ausgehenden gerade so gut wie Kienruss, aber die zum Glase ausfahrenden nur ten Theile. Tusch verhält sich im umgekehrten Sinne und absorbirt le letzten am besten.
loni hat die merkwürdige Beobachtung gemacht, dass auch der ine bestimmte, der des Bleiweisses ähnliche Wärmefarbe besitzt er demgemäss die Strahlen einer Wärmequelle, deren Temperatur ge nicht viel übertrifft, weit vollständiger einsaugt, als die Sonnen- Zu den Körpern, welche das beste Absorptionsvermögen für die rahlen besitzen, gehört das Wasser, der mit organischen Stoffen vermengte Boden, grünende Pflanzen. Die früher verbreitete Anıs schwarze Körper die Wärme vorzugsweise einsaugen, weisse daırzugsweise zurückwerfen ist nicht allgemein richtig. Ueberhaupt e Vermögen nur von der inneren Beschaffenheit der Stoffe, nicht ihrer Farbe, d. h. von ihrem Verhalten gegen die Lichtstrahlen

igkeit der Oberfläche bei sonst reiner Beschaffenheit ist ohne Eindas Absorptionsvermögen. Natürlich vermindert sich aber in dem s die Politur geringer ist, die Menge der regelmässig reflectirten Eine rauhe Metallfläche reflectirt fast nur zerstreute Wärme und verlaher gegen die Wärmestrahlen wie eine unpolirte weisse Fläche gegen . Die von andern Körperoberflächen zerstreut reflectirte Wärme ewöhnlich ihre Farbe, je nach der vorherrschenden Absorptionsder reflectirenden Fläche für diese oder jene Strahlensorte.

i. Innerhalb der Grenze niederer Temperaturen bis zum Sieddes Wassers oder doch nicht viel darüber, hat man das ionsvermögen der Körper ihrem Ausstrahlungsvermögen

gleich gefunden. Oben war z. B. angeführt worden, dass Kienruss, Bleiweiss und Messing einer Wärmequelle von 100° gegenüber, Wärmemengen aufsaugen, die sich wie die Zahlen 100 zu 100 zu 13 verhalten. Dieselben Zahlen drücken aber auch das Ausstrahlungsvermögen dieser Körper aus, wenn man sie bei demselben Grade der Erwärmung vergleicht.

Diese Uebereinstimmung beider entgegengesetzter Vermögen hört aber auf, sobald die Temperatur der Wärmequelle für beide Versuchsreihen beträchtlich verschieden ist; wenn man z. B. die Ausstrahlung bei 100° Erwärmung der Körper untersucht, dagegen zur Prüfung des Absorptionsvermögens sie den Strahlen einer Oelflamme aussetzt. Der Grund ist, wie leicht zu sehen, die mit der Temperaturerhöhung zugleich eintretende Veränderung in der Wärmefarbe der Strahlen.

Tafeln

zum

rauche des Physikers und Chemikers.



Tafeln

zum Gebrauche des Physikers und Chemikers.

---

feln zur Vergleichung der gebräuchlichsten Maasse.

1. Grösse verschiedener Längenmaasse.

ichnung des Maasses.	Grösse in Millimeter.	Grösse in Pariser Linien.	Andere bemerkenswerthe Maasse.
(1)	1000	443,296	
. Fuss Dec. (1)	300	132,989	10′ = 1 Ruthe; 2′ = 1 Elle; 29629 17/27′ = 1 Meile.
ı. Fuss Duodec.	291,8592	129,380	10′ = 1 Rthe; 1 Elle = 833,01 Millimeter.
n. Meter. (s. dieses)	. . .	. . .	1 brab. Elle = 699,2 Millimetr.
schweig. Fuss Duodec.	285,3624	126,500	16′ = 1 Ruthe; 2′ = 1 Elle; 26000′ = 1 Meile.
n. Fuss Duodec. . . .	289,3507	128,268	16′ = 1 Rthe; 2′ = 1 Elle.
aark. rheinl. F. Duodec.	313,8535	139,130	10′ = 1 Rthe; 2′ = 1 Elle; 6′ = 1 Fathen; 24000′ = 1 Meile.
nd. Fuss Duodec. (2)	304,7945	135,114	
.furt. Fuss Duodec. . .	284,6000	126,162	10,5′ = 1 Ruthe; 1 Elle = 23,0609″ = 547,3 Millimetr.
.reich. Meter.			
: pariser Fuss Duodec.	324,8394	144,000	
urg. Fuss Duodec. . .	286,4903	127,000	16′ = 1 Rthe; 2′ = 1 Elle.
›ver. Fuss Duodec. . .	292,0947	129,484	16′ = 1 Rthe; 2′ = 1 Elle; 25400′ = 1 Meile. Das Berglachter = 851,25 par. Lin.
n Darmst. Fuss Dec. (1)	250,0000	110,824	10′ = 1 Klftr.; 24″ = 1 Elle; 3000 Klftr. = 1 Meile.
n Kassel. Neuer Fuss lec. = 11 rheinl. Zoll .	287,6991	127,538	1 Rthe = 3,9887 Meter; 1 Elle = 570,4 Millmetr. 26000′ = 1 Meile.
:k. Fuss Duodec. . . .	291,0000	129,000	16′ = 1 Rthe; 1 Elle = 255,25 par. Lin.
ıı. Fuss Duodec. . . .	287,8400	127,598	1 Rthe = 5 Meter; 1 Elle = 555,5 Millimetr.
rlande. Meter (Elle) (1)			
egen. rheinl. F. Duodec.			

Bezeichnung des Maasses.	Grösse in Millimeter.	Grösse in Pariser Linien.	Andere bemerkenswerthe Maasse.
Oestreich. Wiener F. Duodec. (3)	316,1109	140,126	10′ = 1 Rthe; 2,465′ = 1 Elle
Preussen. rheinl. F. Duodec. (3)	313,8535	139,130	12′ = 1 Rthe; 1 Elle = 25½ Z. = 666,82 Millimetr. 1 Fathen = 6′; 1 Berglachter = 80 Zoll.
Rom. Fuss der alten Römer	295,9	131,14	
Russland. Englischer F. (4)	304,7945	135,114	
Sachsen. Fuss Duodec. . . .	283,1901	125,537	15⅙′ = 1 Rthe; 2′ = 1 Elle; 1 Berglachter = 2 Metr. 32000′ = 1 Meile.
Sachs.-Weimar. F. Duodec.	281,9787	125,000	16′ = 1 Rthe; 2′ = 1 Elle; 26096′ = 1 Meile.
Schweden. Fuss Duodec. u. Dec.	296,9010	131,615	
Schweiz. Neuer Fuss Dec. wie Baden	300,0000	132,989	16000′ = 1 Wegstunde.
Spanien. Castilianischer F. Duodec.	282,6553	125,300	
Würtemberg. Fuss. Dec. .	286,4903	127,000	10′ = 1 Rthe; 1 Elle = 2,14′ = 614,235 Millimetr.

Anmerkungen. 1) Die eigentliche Grundlage des neuen französischen Maasssystems bildet die sogenannte Toise von Peru, deren Länge 6 pariser Fuss beträgt. 443,296 Linien von der Toise bei einer Temperatur von 16°,25 C. abgemessen und auf die Materie des Meters, welche der Temperatur 0° ausgesetzt war, übertragen, gab die wahre Länge des Meters. Die Originaltoise ist auf einer Eisenstange, das Originalmeter auf einer Platinstange aufgetragen. Die Normalmaassstäben, welche von diesen Originalmaassen abgeleitet sind, müssen entweder die Materie derselben beibehalten oder die Temperatur, wobei die Uebertragung (z. B. von Platin auf Messing) stattfand, angemerkt werden, weil sich sonst der Fehler wegen der ungleichen Ausdehnung nicht mehr genau berichtigen lässt.

Das Meter ist ungefähr ein Zehnmilliontel von der Entfernung des Aequators zum Pole.

1 Meter = 10 Decimeter = 100 Centimeter = 1000 Millimeter.
1000 Meter = 1 Kilometer = 10 Hectometer = 100 Decameter.
4000 Meter od. 4 Kilometer = 1 franz. Meile (lieue de poste) = 12315 p. F.

In Belgien, in den Niederlanden und im lombardisch-venetianischen Königreiche ist das neue französische Maasssystem unverändert angenommen worden.

Das grossherzoglich hessische und badische Maasssystem ist von dem metrischen abgeleitet, in der Weise, dass 12 darmst. Fuss = 10 bad. F. = 3 Meter.

In beiden Staaten zerfällt der Fuss in 10 Zoll oder in 100 Linien.

10 darmst. F. = 1 darmst. Klafter; 10 bad. F. = 1 bad. Ruthe.
24 darmst. Zoll = 20 bad. Zoll = 1 Elle.

In der Schweiz gilt dasselbe Längenmaass wie in Baden.

2) Die Grundlage der englischen Längenmaasse ist das Yard. Das Originalmaass ist von Bird im Jahre 1760 auf einer Messingstange aufgetragen. Es hat seine gesetzlich richtige Länge bei 62° F. = 16°,67 C.

= 3 engl. F.; 1 Fuss = 12 Zoll = 144 Linien.
s = 6 Fuss = 1 Fathom (Faden). 5,5 Yards = 1 engl. Ruthe (rod).
Meile = 1760 Yards = 1609,315 Meter = 5307 preuss. Fuss.

rscheiden hiervon ist die englische und französische Seemeile, wo-
einen Grad gehen.

ränderlichkeit des engl. Maasssystems stützt sich gesetzlich auf die
Sekundenpendels, welche in der Breite von London, auf den Meeres-
den luftleeren Raum reducirt 39,1393 engl. Zoll beträgt.

estreich ist im Jahre 1816 der wiener Fuss und in Preussen
n Jahre der rheinländische Fuss zum Landesmaass gesetzlich
rden. Beide Systeme sind mit dem pariser Fuss genau verglichen
d haben ihre richtige Länge bei 16°,25 C.

er Klafter = 6 wien. Fuss; 102764 wien. Klafter = 100000 par. Tois.
00 wien. Klafter = 1 östreich. Postmeile = 24174 rheinl. Fuss.
ss. Ruthe = 12 preuss. Fuss.
rheinl. Fuss = 1 preuss. Meile = 7532,4 Meter.
rheinl. Fuss = 7416 Meter = 1 deutsche oder geographische Meile,
ovon 15 auf einen Aequatorgrad gehen.

Grundlage des russischen Längenmaasses ist der dem englischen
he Fuss, welcher in 12 Zoll, und der Zoll in 10 Linien getheilt ist.
s. Zoll = 1 Arschine (Elle); 7 russ. Fuss = 1 Sashen (Faden);
inen = 500 Sashen = 1 Werst = 3400 rheinl. Fuss.



2. Vergleichung [illegible] (Köhler, [illegible] mathematischer Tafeln.)

Metre	Pariser Fuss.	England Russland Fuss.	Preussen Dänemark rheinl. F	Baiern Fuss.	Hannover Fuss.	Sachsen Fuss.	Braunschweig Fuss.	Hessen Kassel Nassau F	Würtemberg Hamburg Fuss	Baden Schweiz Fuss.	Oestreich Wiener Fuss	Frankfurt Fuss	Hessen Darmstadt Fuss
1	3,078441	3,280899	3,186199	3,426310	3,423547	3,531197	[illegible]	[illegible]	[illegible]	3,333333	3,163446	[illegible]	4,000000
0,3248394	1	1,065765	1,035003	1,113000	1,112103	1,147072	[illegible]	[illegible]	[illegible]	1,082798	1,027612	[illegible]	1,299358
0,3047945	0,9382828	1	0,9711361	1,044320	1,043475	1,076290	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	0,9642010	[illegible]	1,219178
0,3138535	0,9661608	1,029722	1	1,075358	1,074492	1,108219	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	1,255414
0,2918592	0,8984722	0,9575600	0,9299317	1	0,9991943	1,030612	[illegible]	[illegible]	[illegible]	0,9728640	[illegible]	[illegible]	1,167437
0,2920947	0,8991914	0,9583333	0,9306721	1,000807	1	1,031444	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	1,168379
0,2831901	0,8717847	0,9291180	0,9022900	0,9702968	0,9695144	1	0,9923571	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	1,132760
0,2853721	0,8784722	0,9362453	0,9092216	0,9777400	0,9769516	1,007705	1	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
0,2876901	0,8856053	0,9438917	0,9166260	0,9857101	0,9849513	1,015922	[illegible]	1	1,001219	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
0,2864903	0,8819434	0,9399459	0,9128154	0,9816048	0,9808131	1,011654	[illegible]	[illegible]	1	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
0,3000000	0,9235332	0,9842691	0,9558598	1,027893	1,027061	1,059359	[illegible]	[illegible]	[illegible]	1	[illegible]	[illegible]	1,200000
0,3161109	0,9731289	1,037128	1,007193	1,083094	1,082221	1,116240	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	1	1,110720	[illegible]
0,2846000	0,8761272	0,9337440	0,9067924	0,9751474	0,9743447	1,001979	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	0,9003168	1	1,138400
0,2500000	0,7696011	0,8202243	0,7965497	0,8565775	0,8558807	0,8827992	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	0,7908615	[illegible]	1

3. Vergleichung einiger Quadratfusse unter einander und mit dem Quadrat-Metre.

Q. Metre.	Pariser Q Fuss	England Russland Q F.	Preussen Dänemark rhein. Q. F	Baiern Q. F	Hannover Q F	Sachsen Q F	Braunschweig Q F	H. Kassel Nassau Q F	Würtemberg Hamburg Q F	Baden Schweiz Q F	Oestreich Wiener Q F	Frankfurt Q F	Hessen-Darmstadt Q F
1	9,476941	10,76430	10,15187	11,73990	11,72067	12,46938	12,28023	[illegible]	[illegible]	11,11111	10,00749	12,35119	16,00000
0,1055207	1	1,135836	1,071232	1,238770	1,236773	1,315775	[illegible]	[illegible]	[illegible]	1,172452	1,055987	1,303230	[illegible]
0,09289968	0,8803934	1	0,9431053	1,090615	1,088847	1,158399	1,140829	[illegible]	[illegible]	[illegible]	0,9296696	1,146930	[illegible]
0,09850403	0,9335019	1,060327	1	1,156498	1,154534	1,228282	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	1,216612	[illegible]
0,08518180	0,8072323	0,9169223	0,8647544	1	0,9983880	1,062162	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	0,8523170	[illegible]	[illegible]
0,08531933	0,8085537	0,9184028	0,8661505	1,001615	1	1,063877	1,047711	[illegible]	[illegible]	0,9179926	[illegible]	[illegible]	[illegible]
0,08019661	0,7600086	0,8632692	0,8141453	0,9414750	0,9399592	1	0,9848025	[illegible]	0,9770933	[illegible]	[illegible]	0,9850109	[illegible]
0,08143171	0,7717134	0,8765553	0,8266849	0,9559755	0,9544345	1,015401	1	[illegible]	0,9921415	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
0,08277079	0,7844041	0,8909692	0,8402778	0,9716954	0,9701290	1,032089	1,016443	1	1,008450	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
0,08207671	0,7778260	0,8835042	0,8332319	0,9635475	0,9619943	1,023441	[illegible]	[illegible]	1	0,9119635	[illegible]	[illegible]	[illegible]
0,09000000	0,8529136	0,9688000	0,9136681	1,056561	1,054861	1,122232	[illegible]	[illegible]	1,096545	1	0,9006854	[illegible]	[illegible]
0,09992613	0,9469817	1,075635	1,014437	1,173091	1,171202	1,246014	[illegible]	[illegible]	1,217472	[illegible]	1	[illegible]	[illegible]
0,08099117	0,7675853	0,8718718	0,8222725	0,9508142	0,9493412	1,009982	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	1	[illegible]
0,06250000	0,5923013	0,6727686	0,6344917	0,7337253	0,7325426	0,7793347	0,7675145	[illegible]	0,7614621	[illegible]	0,6254021	0,7721714	1

1	29,17385	35,31658	32,34587	40,22330	40,12627	44,03176	43,03380	41,99374	42,52752	37,03704	31,65785	43,42633	64,00000
0,03427727	1	1,210556	1,108728	1,378752	1,375419	1,509288	1,475081	1,439431	1,457727	1,269529	1,085145	1,488968	2,193746
0,02831531	0,8260668	1	0,9158536	1,138941	1,136188	1,246773	1,218515	1,189068	1,204180	1,048715	0,8964019	1,228335	1,812180
0,03091584	0,9019342	1,091842	1	1,243543	1,240538	1,361279	1,330426	1,298272	1,314774	1,145031	0,9787291	1,341137	1,983176
0,02486109	0,7252938	0,8780087	0,8041537	1	0,9975830	1,094678	1,069867	1,044010	1,057281	0,9207812	0,7870486	1,078486	1,591108
0,02492133	0,7270511	0,8801360	0,8061021	1,002423	1	1,097330	1,072459	1,046540	1,059842	0,9230121	0,7889556	1,081105	1,594963
0,02271088	0,6625639	0,8020706	0,7346033	0,9135110	0,9113031	1	0,9773355	0,9537149	0,9658375	0,8411438	0,7189776	0,9852112	1,453496
0,02323755	0,6779288	0,8206707	0,7516389	0,9346955	0,9324363	1,023190	1	0,9758317	0,9882354	0,8606500	0,7356508	1,008058	1,467202
0,02381307	0,6947190	0,8409962	0,7702546	0,9578450	0,9555299	1,048531	1,024767	1	1,012711	0,8819656	0,7538706	1,033026	1,524036
0,02351418	0,6859993	0,8304405	0,7605868	0,9458227	0,9435366	1,035371	1,011905	0,9874486	1	0,8708957	0,7444084	1,020058	1,504909
0,02700000	0,7876940	0,9535476	0,8733386	1,086034	1,083409	1,188857	1,161913	1,133831	1,148243	1	0,8547619	1,171262	1,728000
0,03158774	0,9215362	1,115571	1,021733	1,270570	1,267499	1,390864	1,359341	1,326488	1,343349	1,169916	1	1,370228	2,021616
0,02306179	0,6725100	0,8141105	0,7456305	0,9272236	0,9249829	1,015011	0,9922322	0,9680310	0,9803352	0,8537700	0,7297703	1	1,473760
0,01562500	0,4558415	0,5518216	0,5054044	0,6284929	0,6269734	0,6879961	0,6724033	0,6561526	0,6644920	0,5787040	0,4946528	0,6785370	1

*) Das C. Metre unter dem Namen **Stere** bildet die Einheit des französischen Holzmaasses.

0,001 C. M. = 1 C. Decimetr. gilt als Einheit der metrischen Hohlmaasse, und wird **Litre** genannt.

1 Litre = 1000 C. Centimetr. = 50,412416 par. C. Zoll = 55,894 preuss. C. Z.; 100 Litres = 1 Hectolitre.

5. Grösse verschiedener Feldmaasse.

Bezeichnung des Maasses.	Grösse in Q. Decameter. (Are *).	Andere bemerken Maasse.
Baden. Morgen = 400 Q. Ruthen	36,000	1 Q. Ruthe = 9 Q.
Baiern. Tagewerk = 400 Q. Ruthen . .	34,073	1 Q. R. = 8,518 Q
Belgien, wie Frankreich.		
Braunschweig. Feldmorgen = 120 Q. R.	25,016	1 Q. R. = 20,847
England. Acre = 160 Q. Ruth. (rod) = 4 Viertel (rod of land)	40,467	1 Q. R. = 25,292
Frankfurt. Feldmorgen = 160 Q. Ruth.	20,249	1 Q. R. = 12,656
Frankreich. Hectare = 100 Ares (Q. Dec.)	100,000	1 Q. Decam. = 1
Hannover. Morgen = 120 Q. Ruthen . .	26,210	1 Q. R. = 21,842
Hessen-Darmstadt. Morgen = 4 Viertel = 400 Q. Klafter	25,000	1 Q. Klftr. = 6,2
Hessen-Kassel. Acker = 150 Q. Ruthen	23,865	1 Q. R. = 15,900
Nassau. Morgen = 100 Q. Ruthen . . .	25,000	1 Q. R. = 25,000
Niederlande, wie Frankreich.		
Oestreich. Wiener Joch = 1600 Q. Klft.	57,557	1 Q. Klaft. = 3,5
Preussen. Morgen = 180 Q. Ruthen . . .	25,532	1 Q. R. = 14,185
Sachsen. Acker = 300 Q. Ruthen	55,342	1 Q. R. = 18,447
Schweiz, wie Baden.		
Würtemberg. Morgen = 384 Q. Ruthen .	31,517	1 Q. R. = 8,208 (

*) Die Are = 100 Quadr. Metres ist die Einheit des jetzigen fr schen Feldmaasses.

6. Grösse verschiedener Hohlmaasse.

hnung des Maasses.	Grösse in Litres.	Andere bemerkenswerthe Maasse.
laas = 4 Schoppen = $^1/_{18}$		
. . . .	1,500	100 Maas = 1 Ohm.
r	150,000	100 Maas (Meslein) = 10 Ster = 1 Malter.
laaskanne = 0,043 C. F.	1,069	64 Maaskannen = 1 Eimer.
fel	222,358	208 Maaskannen = 6 Metzen = 1 Scheffel.
. Imper. Gall. = 277,274		
4 Quarts = 8 Pints . . .	4,543458	64 Gall. = 8 Bushels = 1 Quart.
te (Flüssigkeitsmaass)	0,568	1 Bushel gehäuft (das Kohlenmaas) hält 46,13 Litres.
ırter (Getraidemaass) .	290,781	36 solcher Bush. = 1 Chaldron.
rt. Aichmaas = 4 Schop.	1,793	80 Maas = 20 Viertel = 1 Ohm.
r	114,752	64 Maas oder Gescheid = 16 Sechter = 4 Simmer = 1 Malt.
lch, Belgien, Niederlande.		
. . . .	1,000	100 Litres = 1 Hectolitre, für Flüssigkeiten u. Früchte.
g. Kanne = 2 Quartier =		
l	1,805	80 Kannen = 40 Stübchen = 20 Viertel = 4 Anker = 1 Ohm.
e (Fruchtmaass) = 4 Spint		
, Fass	26,325	
›r. Kanne = 2 Quartier =		
. . . .	1,947	80 Kannen = 4 Anker = 1 Ohm.
= 1 Stübchen = 270 C. Z.		8 Kannen = 1 Himten (Fruchtmaass).
en (Fruchtmaass) = 1,25		
. . . .	31,152	6 Himten = 1 Malter; 8 Malter = 1 Winspel.
Darmstadt. Maas = 4		
ıen = 128 C. Z.	2,000	80 Maas = 4 Viertel = 1 Ohm.
›r = 8192 C. Z.	128,000	64 Maass od. Gescheid = 16 Kumpf = 4 Simmer = 1 Malt.
h. Wiener Maas = 4 Sei-		
0,0448 C. F.	1,415	
er Metzen (Fruchtmaass)		
9471 C. F.	61,505	
n. Quart = 64 C. Z. . . .	1,145	120 Quart = 4 Anker = 1 Ohm.
ffel = 3072 C. Z.	54,962	48 Q. = 16 Metzen = 1 Scheffel. 4 Scheffel = 1 Tonne.
. Dresdener Kanne . . .	0,937	72 Kannen = 1 Eimer.
l. Scheffel = 7900 C. Z. .	103,829	1 Scheffel = 4 Quart = 16 Metz. 12 Scheffel = 1 Malter.
›n. Kanne = 0,1 C. F. . .	2,617	
, wie Baden.		
berg. Hell-Eichmaas =		
. Z.	1,837	160 Maas = 1 Eimer; 1 Eimer = 16 Imi.
fel = 7537 C. Z.	177,226	1 Scheffel = 4 Simri = 16 Vierling.

II. Tafeln zur Vergleichung der gebräuchlichst[en] Gewichte.

1. Grösse verschiedener Gewichte.

Bezeichnung des Gewichtes.	Grösse in Grammen.	Andere Gewicht[e]
Kilogramme (1)	1000	100 Kilogr. = 1 metr.
Baiern. Handelspfund = 32 Loth . . .	560	100 Pfd. = 1 Ctr.
Bremen. Handelspfund = 32 Loth . .	498,500	116 Pfd. = 1 Ctr.
Dänemark u. Norwegen. Handelspfd. = 32 Loth	499,309	100 Pfd. = 1 Ctr.
England. Troy-Pfund (3)	373,244	
Avoir du poids, Pfund Handelsgew.	453,595	112 Pfd. = 1 Ctr.
Frankfurt. Pfd. Leichtgew. = 32 Loth	467,914	108 Pfd. = 100 Pfd. S[chwer]gew. = 1 Ctr.
Frankreich. Altes Pfd. (poids de marc)	489,506	
Neues Pfund (livre usuelle) = 16 Unzen (2)	500,000	
Hamburg. Handelspfd. = 32 Loth . .	484,170	112 Pfd. = 1 Ctr.; = 1 Liespfund.
Lübeck. Handelspfd. = 32 Loth . . .	484,725	280 Pfd. = 20 Liesp[f] Schiffspfd.
Nassau. Pfund = 32 Loth	470,686	106 Pfd. = 1 Ctr.
Oestreich. Wiener Handelspfd. = 32 L.	560,012	100 Pfd. = 1 Ctr.
Oldenburg. Handelspfd. = 32 Loth . .	480,367	100 Pfd. = 1 Ctr.
Preussen. Handelspfd. = 32 Loth (4)	467,711	110 Pfd. = 1 Ctr.
Altes Kölner Pfund zu 2 Mark . . .	467,626	
Russland. Handelspfd. = 32 Loth . .	409,520	40 Pfd. = 1 Pud.
Schweden. Schal - oder Victualienpfd. = 32 Loth	425,340	120 Pfd. = 1 Ctr. 100 Pfd. = 20 Liesp[f] Schiffspfd.

Anmerkungen: 1) Das Kilogramme ist das Gewicht von 1 Litre von 1° Temperatur.

1 Kilogramme = 10 Hectogramme = 100 Decagramme = 1000 Gram[me]

Das Gramme, das Gewicht von 1 C. C. Wasser, ist wieder in 10 Dec[i] = 100 Centigramme = 1000 Milligramme getheilt.

Dieses Gewichtssystem ist auch in den Niederlanden, in Belgie[n] der Lombardei gesetzlich eingeführt.

2) Das halbe Kilogramme, oder 500 Gramme, gilt als gesetzliche Ge[wichts]einheit auch an den Gränzen des deutschen Zollvereins, im Gro[ssher]zogthum Hessen, in Sachsen, Baden und der Schweiz. Es ist in = 128 Quentchen getheilt, und 100 dieser Zollpfunde, oder hessisch[e] sächsischen, oder badischen, oder schweizer Pfunde, bilden den Centne[r]

Da die darmstädter Maas = 2 Litres, so folgt, dass 1 darmstädter S[choppen] Wasser = 1 darmstädter Pfund.

1 darmstädter C. F. = 1000 C. Z. = $\frac{1000}{61}$ Litre = $\frac{1000}{32}$ darmstädter Scho[ppen]

folglich 1 darmstädter C. Z. = $\frac{1}{32}$ Schoppen oder 1 C. Z. Wasser = = 15,625 Gramme.

Troy-Pfund ist in 12 Unzen (ounze) oder 240 Pfenniggewichte ›ight) oder 5760 Gran (grains) getheilt.
ziehungen zwischen Maass und Gewicht sind in England gesetzlich so lt, dass 1 engl. K. Z. reines Wasser von 62° F. 250,458 engl. Gran = ımme wiegen soll.
ran = 1 Pfund avoir du poids. Dieses Handelsgewicht ist in 16 Unzen, ıze wieder in 16 Drachmen getheilt.
Grösse des preussischen Pfundes ist in der Art festgesetzt, dass K. F. Wasser von 16°,25 C. gerade 66 Pfund wiegen soll.
Gewicht, oder das demselben fast gleichkommende alte kölnische gegenwärtig auch im Kurfürstenthum Hessen, in Hannover, hweig, den thüringischen Staaten, Würtemberg und Frank- Iandel gebräuchlich.

= 32 Loth = 128 Quentchen = 576 Grän = 7680 Gran.
1 Loth = 4 Quentchen = 18 Grän = 240 Gran = 14,616 Grm.

---

2) Grösse verschiedener Medicinalgewichte.

pothekergewicht hat überall eine gleiche Eintheilung, nämlich:

Pfund.	Unze.	Drachme.	Scrupel.	Gran.
1	12	96	288	5760
	1	8	24	480
		1	3	60
			1	20

solute Grösse des Apothekerpfundes ist jedoch in verschiedenen Län- t genau dieselbe.

Namen.	Grösse in Grammen.	1 Gramme beträgt in Gran dieser Gewichte
rger Medicinalgewicht . . . . . . nach Hanschild)	357,854	16,096
isches, ³/₄ des Handelspfundes .	375,000	15,360
hes Troy-Pfund	373,244	15,431
ıisches Mdpfd. = ³/₄ Hdlspfd. . .	420,009	13,714
sches Mdpfd. = ³/₄ Hdlspfd. . .	350,7836	16,422
Mdpfd.	360,000	
Mdpfd.	357,780	16,099
-Darmstadt. Mdpfd.	357,854	16,096
-Kassel. Mdpfd.	357,664	16,104
ırt. Mdpfd.	357,854	16,096
ıberg. Mdpfd.	357,647	16,105
ınde	375,000	15,360
ırk	357,669	16,104
en	356,437	16,160

3. Vergleichung einiger Gewichte unter einander.

Frankreich. Kilogramme.	Sachsen, Baden, Hessen-Darmstadt, Schweiz. Zollpfund.	England. Pfd. avoir du poids.	Preussen, Hannover, Kurhessen, Braunschweig, Weimar, Würtemberg. Pfund.	Baiern. Pfund.	Oestreich. Pfund.	Dänemark, Norwegen. Pfund.	Schweden. Schalpfund.
1	2,000000	2,204597	2,138072	1,785714	1,785675	2,002768	2,351063
0,5000000	1	1,102299	1,069036	0,8928571	0,8928377	1,001384	1,175532
0,4535976	0,9071952	1	0,9698245	0,8099957	0,8099781	0,9084507	1,066437
0,4677110	0,9354220	1,031114	1	0,8351982	0,8351800	0,9367166	1,099618
0,5600000	1,120000	1,234574	1,197321	1	0,9999[illegible]82	1,121550	1,316595
0,5600122	1,120024	1,234601	1,197347	1,000022	1	1,121574	1,316624
0,4993090	0,9986180	1,100775	1,067559	0,8916232	0,8916038	1	1,173907
0,4253395	0,8506790	0,9377023	0,9094066	0,7595318	0,7595163	0,8518563	1

III. Tafel. Specifische Gewichte.

1. Feste Körper.

örper.	Specifisches Gewicht.	Körper.	Specifisches Gewicht.
....	2,590	Holz, lufttrocknes von	
r	2,700	Eiche (Sommereiche)	0,650
, ...	1,800	Erle	0,538
....	1,100	Esche	0,670
....	2,014—3,310	Guajak	1,342
: (Mittelwerth)	2,500	Hainbuche (Weiss-	
t.	1,075	buche).........	0,728
l	0,914—1,647	Kiefer (pinus silve-	
ile	1,0—1,4	stris)	0,550
....	0,942	Kork	0,240
....	0,986	Lerche	0,563
ouc	0,934	Linde	0,559
efer	2,670—3,500	Nussbaum	0,660
....	3,440—3,550	Pappel	0,390
....	0,916	Pflaumenbaum	0,872
t	1,825	Pockholz	1,263
nicht, festge-		Rosskastanie	0,551
t		Rothtanne (pinus pi-	
l	2,060	cea)	0,481
en	1,930	Steineiche (Winter-	
in (gemeiner		eiche)	0,707
....	2,58—2,63	Saalweide	0,529
ines	2,811	Ulme (Rüster)	0,568
erglas	2,642	Holzkohle	0,280—0,440
allglas	2,892	Jod	4,948
elglas	2,370—2,560	Kalkstein (dichter) . .	2,700
glas (Mittel) .	3,300	Kreide	1,8
....	2,654—2,934	Lava	2,800
....	2,540—3,063	Lehm, fetter, frisch . .	1,664
....	2,250—2,410	— — — — erhärtet .	1,516
lzfaser oder		Marmor	2,7—2,8
che Holzsub-		Mauerwerk, von Ziegel-	
....	1,500	steinen mit Kalkmör-	
ltrocknes von		tel, frisch	1,554—1,700
....	0,645	trocken	1,471—1,593
um	0,734	— von Bruchsteinen,	
....	0,738	frisch	2,460
m	0,732	trocken	2,400
(Rothbuche) .	0,750	Metalle:	
m	0,942	Antimon	6,640
....	0,575	Arsenik	5,672
lz, grünes . .	1,210	Barium	4,732
varzes	1,187	Blei, gegossen	11,352
ne (pinus		— gepresst	11,388
)	0,555	Chrom	5,900
um (Taxus)	0,744	Eisen, geschmiedet .	7,788

Körper.	Specifisches Gewicht.	Körper.	Specifisc[hes] Gewich[t.]
Metalle:		Metalle:	
Eisen-Guss (Roheisen)	7,207	Zinn	7,29
— Stahl, ungehärtet	7,833	Metall-Legirungen:	
gehärtet .	7,816	Argentan	8,56
Guss-Stahl . . .	7,919	Kanonenmetall . . .	8,441—
Gold, gehämmert . .	19,362	Messing	7,600—
— gegossen	19,258	Pech, weisses	1,07
Iridium	15,863	Perlen	2,75
Kalium	0,865	Porzellan	2,31
Kobalt	8,513	Phosphor	1,77
Kupfer, gehämmert .	8,878	Quarz	2,65
— gegossen	8,788	Sand, gemeiner, trokken	1,6
Molybdän	8,625	Sandstein	2,0—
Natrium	0,972	Selen	4,3
Nickel	8,477	Schwefel	2,0
Osmium	10,000	Schwerspath	4,5
Palladium	12,000	Saphir	3,9
Platin, schmiedbares	21,450	Smaragd	2,68—
Quecksilber bei 0° .	13,598	Steinkohle	1,15—
— gefroren	15,612	Steinsalz	2,14—
Rhodium	11,000	Talg	0,9
Silber, gehämmert .	10,511	Topas	3,5—
— gegossen	10,477	Wachs, weisses . . .	0,9
Tellur	6,258	Wallrath	0,9
Titan	5,280	Waitzen	1,3
Wismuth	9,822	Ziegel (gebrannter) .	1,4—
Wolfram	17,300	Zinnober	8,0
Zink	7,191	Zucker, weisser . . .	1,6

2. Flüssigkeiten.

Namen.	Specifisches Gewicht.	Namen.	Specifi[sches] Gewi[cht.]
Aether (Schwefeläther) bei 12°,5 C.	0,733	Alkohol (Weingeist) bei 15° C. und bei einem Gehalte an absolutem Alkohol, in Volumprocenten:	
Alkohol (Weingeist) bei 15° C. und bei einem Gehalte an absolutem Alkohol, in Volumprocenten:		55	0,92
		50	0,93
100	0,7947	45	0,94
95	0,8168	40	0,95
90	0,8346	35	0,95
85	0,8502	10	0,96
80	0,8645	0 d. h. reines Wasser	1,00
75	0,8799		
70	0,8907	Brom	2,9
65	0,9027	Meerwasser	1,0
60	0,9141	Oele: Leinöl	0,9

Namen.	Specifisches Gewicht.	Namen.	Specifisches Gewicht.
e:		Salzsäure, flüssige von	
ohnöl	0,929	39,675 pCt. Chlorgeh.	1,200
ivenöl	0,915	35,310 „ „	1,180
iböl, gutes	0,914	29,757 „ „	1,152
cksilber bei 0° . .	13,598	23,805 „ „	1,120
etersäure bei einem		17,854 „ „	1,090
halte an wasser-		Schwefelsäure, con-	
ler Säure von		centrirte	1,850
,7 Procent	1,500	Wein	0,9—1,05
,3 „	1,479	Wasser, chemisch rein	
,8 „	1,419	und bei 16°,25 C. . .	1,000
,4 „	1,332		
,3 „	1,221		
,3 „	1,190		

htigkeit und Volumen des Wassers bei verschiedenen Temperaturen zwischen 0° — 100° C.

(Aus Gehler physik. Wörte buch. Bd. 10. S. 913.)

	Volum.	Dichtigkeit.	t	Volum.	Dichtigkeit.
	1,000000	1,000000	30°	1,004216	0,995802
	0,999950	1,000050	31	1,004523	0,995198
	0,999915	1,000080	32	1,004831	0,995193
	0,999894	1,000106	33	1,005140	0,994887
	0,999882	1,000118	34	1,005449	0,994580
	0,999888	1,000112	35	1,005761	0,994272
	0,999897	1,000103	36	1,006108	0,993931
	0,999919	1,000081	37	1,006452	0,993489
	0,999956	1,000014	38	1,006799	0,993146
	0,999996	0,999994	39	1,007147	0,992802
	1,000060	0,999931	40	1,007496	0,992560
	1,000145	0,999855	41	1,007898	0,992160
	1,000235	0,999765	42	1,008207	0,991799
	1,000336	0'999662	43	1,008610	0,991118
	1,000453	0,999547	44	1,009021	0,991036
	1,000581	0,999419	45	1,009434	0,990654
	1,000720	0,999280	46	1,009859	0,900210
	1,000872	0,999128	47	1,010285	0,989825
	1,001035	0,998966	48	1,010712	0,989409
	1,001210	0,998791	49	1,011139	0,988992
	1,001397	0,998605	50	1,011570	0,988563
	1,001594	0,998408	51	1,012033	0,988184
	1,001802	0,998201	52	1,012497	0,987704
	1,002022	0,997982	53	1,012962	0,987323
	1,002251	0,997754	54	1,013438	0,986911
	1,002491	0,997515	55	1,013894	0,986297
	1,002741	0,997267	[illegible]	1,014382	0,985813
	1,003001	0,997008	57	1,014891	0,985328
	1,003271	0,996710	58	1,015392	0,984842
	1,003549	0,996163	59	1,015894	0,984355
	1,003837	0,996176	60	1,016396	0,983567

t	Volum.	Dichtigkeit.	t	Volum.	Dichtigke
61°	1,016930	0,983383	81°	1,028728	0,9720
62	1,017464	0,982898	82	1,029385	0,97145
63	1,018000	0,982112	83	1,030043	0,97083
64	1,018538	0,981925	84	1,030702	0,97021
65	1,019078	0,981280	85	1,031364	0,96959
66	1,019611	0,980736	86	1,032047	0,96895
67	1,020212	0,980191	87	1,032731	0,96830
68	1,020780	0,979645	88	1,033416	0,96766
69	1,021350	0,979099	89	1,034102	0,96702
70	1,021920	0,978550	90	1,034791	0,9663
71	1,022531	0,977979	91	1,035500	0,9657
72	1,023143	0,977407	92	1,036210	0,9650
73	1,023756	0,976834	93	1,036921	0,9643
74	1,024370	0,976260	94	1,037633	0,9637
75	1,024986	0,975685	95	1,038346	0,9630
76	1,025603	0,975089	96	1,039078	0,9623
77	1,026221	0,974492	97	1,039811	0,9617
78	1,026840	0,973894	98	1,040515	0,9610
79	1,027459	0,973295	99	1,041280	0,9603
80	1,028072	0,972695	100	1,042016	0,9596

Anmerkung. Das specifische Gewicht eines Körpers **bezeichnet zu** **das absolute Gewicht eines Raumtheils** seiner Masse, **wenn das Gewic** **Raumeinheit** des Wassers **als** Gewichtseinheit angenommen **ist. Z. B. ein** Wasser = 1 **Grm; 1 Litre Wasser** = 1 Kilogrm. Daher **ein K. C. Queck** wiegt 13,598 **Grm., ein Litre Quecksilber** wiegt 13,598 **Kilogrm.**

Wo eine solche einfache Beziehung zwischen Maass **und Gewicht** nicht findet, muss man, um das Gewicht der kubischen Maasseinheit eines Körp erhalten, sein specif. Gewicht multipliciren mit dem Gewichte der Mass des Wassers. Man hat in dieser Beziehung zu merken, dass

								Preuss. Pfunde.	gr
1 badischer	K. F.	Wasser	bei 4°	wiegt	54	bad. Pfde.	=	57,638	27
1 baierscher	„	„	bei 16°,25	„	44,395	baier. Pfde.	=	53,077	24
1 darmstädter	„	„	bei 4°	„	31,250	darmst. Pf.	=	32,591	15
1 englischer	„	„	bei 16°,25	„	75,137	engl. Tr. Pf.	=	60,449	28
1 hannöv.	„	„	„	„	53,143	hannöv. Pf.	=	53,143	24
1 kasseler	„	„	„	„	50,840	kasseler Pf. Leichtgewicht.	=	50,840	23
1 östreichisch.	„	„	„	„	56,377	wiener Pfd.	=	67,426	31
1 pariser	„	„	„	„	68,554	franz. Pfd.	=	73,174	34
1 preussischer	„	„	„	„	61,832	franz. Pfd.	=	66	30
1 sächsischer	„	„	„	„	45,166	sächs. Pfd.	=	48,213	22
1 würtemberg.	„	„	„	„	50,200	würt. Pfd.	=	50,200	23



3. Gasförmige Körper und Dämpfe,

ie Temperatur von 0° und 336,9 pariser Linien Druck reducirt.

Namen.	Specifisches Gewicht. Luft = 1	Wasser = 1(
. . . .	10,3654	13,4657
ıpf	2,5830	3,3556
ımpf	1,6010	2,0799
pf	5,3930	7,0060
. . . .	2,4403	3,1702
ıerstoff	1,2544	1,6296
. . . .	1,8120	2,3540
. . . .	8,7011	11,3036
ffgas	0,8364	1,0866
rd	0,9695	1,2595
re	1,5208	1,9757
ıserstoff (oelbildendes Gas) . . .	0,9740	1,2653
. . . .	1	1,2991
lampf	4,3256	5,6194
erdampf	6,9785	9,0658
. . . .	1,1026	1,4324
ampf	6,6542	8,6445
: Säure	2,2116	2,8731
rasserstoff	1,1778	1,5301
. . . .	0,9760	1,2675
ɔxydul	1,5273	1,9841
ɔxyd	1,0393	1,3502
mpf	0,6201	0,80557
ɔff	0,0688	0,08938

vollständige Tabelle über die spec. Gew. der Gase und Dämpfe findet man in P 424. Spalte V enthält die berechneten Werthe.

ıfel. Ueber die Ausdehnung der Körper durcl die Wärme.

Längenausdehnung fester Körper.

rper.	Verlängerung von 0° bis 100° C.		*Körper.*	Verlängerung vo bis 100° C.	
. . . .	0,002848	1/351	Platin	0,000856	1/11
chmiedet. .	0,001167	1/856	Sandstein	0,001174	1/8
sen	0,001110	1/901	Silber	0,001909	1/5
ses	0,000861	1/1161	Stahl, gehärtet . . .	0,001225	1/8
. . . .	0,001552	1/645	— weich	0,001079	1/9
1 Zink und			Weichloth, 1 Zinn u.		
r	0,002058	1/185	2 Blei	0,002505	1/3
nenholz) in			Zink, gewalzt	0,003331	1/3
tung der Fa-			— gegossen	0,002987	1/3
. . . .	0,000380	1/2631	Zinkloth, 1 Zinn u.		
oth	0,002505	1/399	2 Kupfer	0,002058	1/4
. . . .	0,001717	1/582	Zinn	0,002173	1/1
ɔn Carrara .	0,000849	1/1178	Ziegeln	0,000500	1/2(
. . . .	0,001920	1/521			

Bezeichnet l die Länge eines Körpers bei der Temperatur t^0; l' d desselben Körpes bei t'^0; α den Ausdehnungs-Coefficienten des Stoffes nämlich $\frac{1}{100}$ der Verlängerung von 0^0—100^0, so findet man

$$l' = \frac{l(1 + \alpha t')}{1 + \alpha t}$$

Körperliche Ausdehnung des gewöhnlichen weissen Gla Glasröhren und Thermometer.

	Mittlere Vergrösserung des Volums bei $0,^0$ Temperatur-Erhöhung.		
	nach Dulong u. Petit.	nach Magnus.	
zwischen 0 — 100°	0,00002584	0,00002618	0,00
„ 0 — 200°	0,00002768	0,00003027	0,00
„ 0 — 300°	0,00003032	0,00003032	0,00

Ausdehnung des Quecksilbers für 1° Temperatur-Erhö

	Wahre Ausdehnung.	Scheinbare Au in Glasgef
zwischen 0 — 100°	$^1/_{5550}$ = 0,000180180	1/6[illegible]
„ 0 — 200°	$^1/_{5425}$ = 0,000184331	1/6[illegible]
„ 0 — 300°	$^1/_{5300}$ = 0,000188679	1/6[illegible]

Zur Berechnung der Ausdehnung zwischen — 30° bis 130° kann der Formel bedienen $V' = \frac{5550 + t'}{5550 + t} V$

Wahre Ausdehnung gasförmiger Körper für 1° Tempe Erhöhung. (Nach Beobachtungen in Glasgefässen

	Unter atmosphärischem Drucke. (Magnus, Regnault.)	Unter einem Dr 3,5 Atmosp (Regnau
Atmosphärische Luft . .	0,003665 = $^1/_{273}$	0,0036
Wasserstoff	0,003661	0,0036
Kohlenoxydul	0,003669	
Kohlensäure	0,003690	0,0038
Stickstoffoxydul	0,003720	
Cyan	0,003877	
Schweflige Säure	0,003880	

Formel zur Bestimmung des Luftvolums V' bei der Temperat das Volum V bei t^0 gegeben ist:

$$V' = \frac{1 + 0{,}003665\, t'}{1 + 0{,}003665\, t} V = \frac{273 + t'}{273 + t} V.$$

'afel. *Specifische Wärme der Körper, bezogen auf die des Wassers zwischen* 0—20°.

1. Feste Körper.

Namen.	Specifische Wärme. 0 — 100°	Namen.	Specifische Wärme. 0 — 100°
ystall	0,1894	Messing	0,0939
. . . .	0,0314	Phosphor zwischen 10 — 30°	0,1887
. . . .	0,9000	„ „ 0 — 100°	0,2514
. . . .	0,1138	Platin zwischen 0 — 100°	0,03350
cyd (Colcothar)		„ „ 0 — 200	0,03392
isch rein, pulver-		„ „ 0 — 300	0,03434
aig	0,1737	„ „ 0 — 400	0,03476
h Glühen zusammen-		„ „ 0 — 500	0,03518
intert	0,1681	„ „ 0 — 600	0,03560
lanz	0,1667	„ „ 0 — 700	0,03602
. . . .	0,1770	„ „ 0 — 800	0,03644
. . . .	0,0324	„ „ 0 — 900	0,03686
sen	0,1298	„ „ 0 — 1000	0,03728
. . . .	0,5	„ „ 0 — 1100	0,03770
gebrannt	0,2170	„ „ 0 — 1200	0,03812
ath	0,2046	„ „ 0 — 1300	0,03854
er Marmor	0,2128	„ „ 0 — 1400	0,03896
. . . .	0,2148	„ „ 0 — 1500	0,03938
		„ „ 0 — 1600	0,03980
kohle	0,2415	Rose'sches Metall	0,0338
. . . .	0,2031	Schwefel	0,2000
kohle	0,2009	Silber 0 — 100°	0,0557
racit	0,2010	„ 0 — 300°	0,0611
hit	0,2027	Stahl	0,1185
iant	0,1469	Steingut	0,1190
, ausgeglüht, ge-		Thon, gebrannt	0,1850
eidig	0,0950	Zink	0,0956
kalt, gehämmert .	0,0935	Zinn	0,0562
nach dem Hämmern			
eglüht	0,0950		

2. Flüssige Körper.

Namen.	Specifische Wärme. 0 — 100°	Namen.	Specifische Wärme. 0 — 100°
l	0,5040	Schwefelkohlenstoff	0,3290
ilber 0 — 100° . . .	0,0333	Terpenthinöl	0,4259
0 — 300° . . .	0,0350	Wasser 0 — 20°	1
elsäure, concentrirte	0,3490	„ 0 — 100°	1,0127
eläther	0,5500		

3. Gasförmige Körper.

Namen.	Specifische Wärme.		
	gleicher Volume.	gleicher Gewichte.	
		Luft = 1.	Wasser =
Atmosphärische Luft . . .	1	1	0,2669
Sauerstoff	1	0,9069	0,2421
Wasserstoff	1	14,5349	3,8793
Stickstoff	1	1,0318	0,2754
Kohlenoxyd	1	1,0267	0,2740
Stickstoffoxydul	1,227	0,8035	0,2145
Kohlensäure	1,249	0,8195	0,2187
Oelbildendes Gas	1,754	1,7898	0,4777
Wasserdampf	1,960	3,1360	0,8370

VI. Tafel. Specifische Wärme der Atome.

Einfache Stoffe.	Specifische Wärme gleicher Gewichte. Wasser = 1000.	Atomgewichte.	Wärmecapacität des Atoms.	Wärme… cität von Schwef…
Schwefel	188	201	37788	1
Selen	83,7	495	41430	1
Tellur	51,6	802	41383	1
Jod	54	790	42660	1
Brom	135	489	66015	3/2
Phosphor	189	196	37044	1
Arsenik	81	470	38070	1
Kohlenstoff	241	76	18316	1/2
Platin	33,5	1234	41339	1
Palladium	59	666	39294	1
Iridium (unrein)	36,8	1234	45428	1
Gold	29,8	1243	37042	1
Silber	55,7	1352	75306	2
Quecksilber	33	1266	41778	1
Kupfer	95	396	37620	1
Blei	29,8	1295	37928	1
Zinn	51,4	735	37779	1
Antimon	51	806	41106	1
Wismuth	28,8	887	25546	2/3
Kadmium	57	697	39729	1
Kobalt	107	369	39483	1
Nickel	108	370	39900	1
Eisen	110	339	37290	1
Mangan-(kohlenhaltig) . .	144	346	49848	1
Zink	96	403	38688	1
Molybdän	66	599	39534	1
Wolfram	35	1183	41405	1

-bindungen.	Specifische Wärme gleicher Gewichte. Wasser = 1000.	Atomgewichte	Wärmecapacität des Atoms.	Wärmec[apa]cität von Schwefe[l]
-girungen:				
+ 1 At. Zinn . . .	40,73	2030	82680	2
+ 2 At. Zinn . . .	45,06	2765	124590	3
+ 1 At. Antimon .	38,80	2101	81520	2
muth + 2 At. Zinn	45,04	2358	126150	3
. O.				
. . . .	51,18	1394,5	71340	
beroxyd	51,79	1365,8	70740	
xydul	157,01	445,9	70010	
yd	142,01	495,7	70390	
ydul	158,85	469,6	74600	
e	243,94	258,4	63030	
l	124,80	503,2	62770	
. . . .	217,00	356	77200	
$_2$. O_3.				
d	168	978,4	164440	
. . . .	61,6	2889	177900	
yd	179,6	1003,6	180010	
(Sapphir) . . .	217,3	642,4	139610	
Säure	127,8	1240,1	158560	
-metalle. R. S.				
leisen	135,7	540,4	73330	
lnickel	128,1	570,8	73150	
lkobalt	125,1	570,0	71340	
lzink	123,0	604,4	74350	
lblei	50,8	1495,6	76000	
lzinn	83,7	936,5	78340	
lquecksilber . . .	51,2	1467,0	75060	
larsenik (Realg.)	111,1	671	74550	
lmetalle. R_2. S_3.				
lantimon	84,0	2216,4	186210	
lwismuth	60,0	3264,2	195900	
lmetalle. R. S_2.				
leisen (Eisenkies)	130	741,6	96450	
lzinn	119,3	1137,7	135660	
lmolybdän	123,3	1001	123460	
lmetalle. R_2. S.				
-lkupfer (halb) . .	121,2	992	120210	
lsilber	74,6	1553	115860	
alze. R_2 Cl_2				
trium . . .	214	733,5	156970	
lium	173	932,5	161190	
lberchlorür	52	2974,3	154600	

Verbindungen.	Specifische Wärme gleicher Gewichte. Wasser = 1000.	Atomgewichte	Wärmecapacität des Atoms.
Haloidsalze. R_2. Cl_2.			
Kupferchlorür	138,3	1234,0	156830
Chlorsilber	91,1	1794,1	163420
Bromkalium	113,2	1468,2	166210
Bromsilber	73,9	2330,0	173310
Jodkalium	81,9	2068,2	169380
Quecksilberjodür	39,5	4109,3	162340
Haloidsalze. R. Cl_2.			
Chlorbarium	89,6	1299,5	116440
Chlorcalcium	164,2	698,6	114720
Chlorblei	66,4	1737,1	115350
Zinnchlorür	101,6	1177,9	119590
Chlorzink	136,2	845,8	115210
Bromblei	53,3	2272,8	121000
Jodblei	42,7	2872,8	122540
Fluorcalcium	214,9	489,8	105310
Schwefelsaure Salze. R. S O_4.			
Schwefelsaurer Baryt . .	112,9	1458,1	164540
" Kalk . . .	196,6	857,2	168490
Schwefelsaure Bittererde	221,6	759,5	168300
Schwefelsaures Bleioxyd	87,2	1895,7	165390
Kohlensaure Salze. R. O. C O_2			
Kalkspath	208,6	631	131610
Kohlensaurer Baryt . . .	110,4	1231,9	135990
Kohlensaures Eisenoxydul	193,5	714,2	138160
Weissbleierz	81,4	1671	136000

VII. Tafel. Schmelzpunct einiger Körper.

Körper.	Schmelzpunct.	Körper.	Schmelzpunct.
ilber	— 40°,5 C.	Schwefel	111° C.
. . . .	— 25°	Zinn	223
. . . .	0	Blei	262
. . . .	+ 32	Wismuth	265
or	+ 42,8	Zink	374
. . . .	61,5	Antimon	513
. . . .	58	Silber, ungefähr	1000
ı	90	Gold, ungefähr	1200
hes Metall, beste-		Weisses Gusseisen . . .	1050—1100
ıus 8 Wismuth,		Graues Gusseisen	1100—1200
und 3 Zinn . . .	95	Stahl	1300—1400
. . . .	102	Eisen	1500—1600
. . . .	107		

'III. Tafel. Siedpuncte einiger Körper unter 336,9''' Druck.

Körper.	Siedpunct.	Körper.	Siedpunct.
lige Säure	— 10°	Terpenthinöl	156°
d	+ 21°,8	Jod	176
ıre	26,5	Phosphor	288
eläther	35,66	Schwefel	316
elkohlenstoff . . .	46,6	Leinöl	316
. . . .	47	Schwefelsäure (concentrirte)	325
l	78,4	Quecksilber	360° des Quecksilberthermomet.
um	85		
. . . .	100		
r	104		

IX. Tafel. Kälte erregende Mischungen.

Mischungen.	Die Temperatur von	bis
1 Theil Wasser mit 1 Theil salpetersaurem Ammoniak	+ 10°	—15°
32 Theile Wasser mit 11 Th. Salmiak, 10 Th. Salpeter und 16 Th. krystallisirtem Glaubersalz	+ 12	—[illegible]
Gleiche Theile verdünnte Schwefelsäure (1 Th. Säure mit 1 Th. Wasser) und Glaubersalz	+ 10	—[illegible]
5 Theile Salzsäure, 8 Th. Glaubersalz	+ 12	—[illegible]
Gleiche Theile Schnee und verdünnte Salpetersäure .	— 18	—[illegible]
Gleiche Theile Schnee und verdünnte Schwefelsäure .	— 7	—[illegible]
8 Theile Schnee mit 10 Th. verdünnter Schwefelsäure	— 50	—[illegible]
1 Theil Schnee mit $\frac{1}{2}$ verdünnter Schwefelsäure (aus 4 Theile concentrirter Säure und 1 Th. Wasser gemischt)	0	—[illegible]
Gleiche Theile Schnee und Kochsalz	0	—[illegible]
Gleiche Theile Schnee und krystallisirter salzsaurer Kalk	0	—[illegible]
1 Theil Schnee mit 2 Th. salzsaurem Kalk	— 17,5	—[illegible]

Anmerkung: Alle Wärmeverhältnisse in den vorstehenden Tabellen ziehen sich auf Grade der hunderttheiligen Scala. Häufig ist es erforderlich, die Grade des Celsius'schen Thermometers in Grade Réaumür oder Fahrenheit auszudrücken, oder umgekehrt die letzteren in erstere zu verwandeln. Hierzu kann man sich der folgenden sechs Reductionsformeln dienen.

1) $R^{\circ} = \frac{8C^{\circ}}{10}$; 2) $C^{\circ} = \frac{10R}{8}$

3) $F^{\circ} = 1{,}8C^{\circ} + 32$; 4) $C^{\circ} = \frac{(F^{\circ} - 32)5}{9}$

5) $F^{\circ} = \frac{9R^{\circ}}{4} + 32$; 6) $R^{\circ} = \frac{(F^{\circ} - 32)4}{9}$

Tafel. Reduction der Aräometergrade von Beaumé. Cartier und Beck auf specifische Gewichte.

1. Für Flüssigkeiten schwerer als Wasser.

de	Beaumé	Beck.	Grade	Beaumé	Beck	Grade	Beaumé.	Beck
0	1,000	1,0000	26	1,221	1,1806	52	1,566	1,4407
	1,007	1,0059	27	1,231	1,1888	53	1,583	1,4530
2	1,014	1,0119	28	1,242	1,1972	54	1,601	1,4655
3	1,022	1,0180	29	1,252	1,2057	55	1,618	1,4783
4	1,029	1,0241	30	1,261	1,2143	56	1,638	1,4912
5	1,036	1,0303	31	1,275	1,2230	57	1,659	1,5011
6	1,044	1,0366	32	1,286	1,2319	58	1,678	1,5179
7	1,052	1,0429	33	1,298	1,2409	59	1,698	1,5315
8	1,060	1,0494	34	1,309	1,2500	60	1,718	1,5454
9	1,067	1,0559	35	1,321	1,2593	61	1,739	1,5596
0	1,075	1,0625	36	1,334	1,2687	62	1,760	1,5741
1	1,083	1,0692	37	1,346	1,2782	63	1,782	1,5858
2	1,091	1,0759	38	1,359	1,2879	64	1,804	1,6038
3	1,100	1,0828	39	1,372	1,2977	65	1,827	1,6190
4	1,106	1,0897	40	1,384	1,3077	66	1,850	1,6346
5	1,116	1,0968	41	1,398	1,3178	67	1,871	1,6503
6	1,125	1,1039	42	1,412	1,3281	68	1,898	1,6667
7	1,134	1,1111	43	1,426	1,3386	69	1,922	1,6832
8	1,143	1,1184	44	1,440	1,3492	70	1,947	1,7000
9	1,152	1,1258	45	1,454	1,3600	71	1,973	1,7172
0	1,162	1,1333	46	1,470	1,3710	72	2,000	1,7347
1	1,171	1,1409	47	1,485	1,3821	73		1,7526
2	1,180	1,1489	48	1,501	1,3934	74		1,7708
3	1,190	1,1565	49	1,516	1,4050	75		1,7895
4	1,199	1,1644	50	1,532	1,4167	76		1,8085
5	1,210	1,1724	51	1,549	1,4286			

Für Flüssigkeiten leichter als Wasser.

Grade.	Beaumé.	Cartier.	Beck.	Grade.	Beaumé	Cartier.	Beck.	Grade.	Beaumé.	Cartier.	Beck.
0	. . .	. . .	1,0000	24	0,909	0,908	0,8762	48	0,787	. . .	0,7800
1	. . .	. . .	0,9941	25	0,903	0,901	0,8717	49	0,782	. . .	0,7763
2	. . .	. . .	0,9883	26	0,898	0,895	0,8673	50	0,778	. . .	0,7727
3	. . .	. . .	0,9826	27	0,892	0,889	0,8629	51	0,773	. . .	0,7692
4	. . .	. . .	0,9770	28	0,886	0,883	0,8585	52	0,769	. . .	0,7658
5	. . .	. . .	0,9714	29	0,881	0,877	0,8542	53	0,765	. . .	0,7623
6	. . .	. . .	0,9659	30	0,875	0,871	0,8500	54	0,760	. . .	0,7589
7	. . .	. . .	0,9604	31	0,870	0,865	0,8457	55	0,756	. . .	0,7556
8	. . .	. . .	0,9550	32	0,864	0,859	0,8415	56	0,752	. . .	0,7522
9	. . .	. . .	0,9497	33	0,859	0,853	0,8374	57	0,748	. . .	0,7489
10	1,000	. . .	0,9444	34	0,854	0,848	0,8333	58	0,744	. . .	0,7456
11	0,993	. . .	0,9392	35	0,849	0,842	0,8292	59	0,739	. . .	0,7423
12	0,986	0,992	0,9340	36	0,844	0,837	0,8252	60	0,735	. . .	0,7391
13	0,979	0,985	0,9289	37	0,838	0,831	0,8212				
14	0,972	0,977	0,9239	38	0,833	0,826	0,8173				
15	0,966	0,970	0,9189	39	0,829	0,821	0,8133				
16	0,959	0,962	0,9139	40	0,824	0,815	0,8095				
17	0,952	0,955	0,9090	41	0,819	0,810	0,8061				
18	0,946	0,948	0,9042	42	0,814	0,805	0,8018				
19	0,940	0,941	0,8994	43	0,809	0,800	0,7981				
20	0,933	0,934	0,8947	44	0,802		0,7944				
21	0,927	0,928	0,8900	45	0,800		0,7907				
22	0,921	0,921	0,8854	46	0,796		0,7871				
23	0,915	0,914	0,8808	47	0,791		0,7834				

XI. Tafel. Zur Alkoholometrie.

No. 1.

ıt den Alkoholgehalt in Procenten vom Volume einer weingeistigen Flü wenn diese bei 60° Fahrh. = 12°,5 R. = 15°,55 C. das in der zweit e angegebene spec. Gewicht besitzt. Das spec. Gewicht des Wassers i ıncte seiner grössten Dichte zu 10000 vorausgesetzt, wodurch es si F. in 9991 verwandelt.

Weingeist specif. Gewicht bei 60° F.	Unterschiede.	Alkoholgehalt Volumprocente	Weingeist specif. Gewicht bei 60° F.	Unterschiede.	Alkoholgehalt Volumprocente	Weingeist specif. Gewicht bei 60° F.	Unterschiede
9991	15	34	9596	13	68	8941	24
9976	15	35	9583	13	69	8917	24
9961	14	36	9570	13	70	8892	25
9947	14	37	9556	14	71	8867	25
9933	14	38	9541	15	72	8842	25
9919	13	39	9526	15	73	8817	25
9906	13	40	9510	16	74	8791	26
9893	12	41	9494	16	75	8765	26
9881	12	42	9478	16	76	8739	26
9869	12	43	9461	17	77	8712	27
9857	12	44	9444	17	78	8685	27
9845	11	45	9427	17	79	8658	27
9834	11	46	9409	18	80	8631	27
9823	11	47	9391	18	81	8603	28
9812	10	48	9373	18	82	8575	28
9802	11	49	9354	19	83	8547	28
9791	10	50	9335	19	84	8518	29
9781	10	51	9315	20	85	8488	30
9771	10	52	9295	20	86	8458	30
9761	10	53	9275	20	87	8428	30
9751	10	54	9254	21	88	8397	31
9741	10	55	9234	20	89	8365	32
9731	11	56	9213	21	90	8332	33
9720	10	57	9192	22	91	8299	33
9710	10	58	9170	22	92	8265	34
9700	11	59	9148	22	93	8230	35
9689	10	60	9126	22	94	8194	36
9679	11	61	9104	22	95	8157	37
9668	11	62	9082	22	96	8118	39
9657	11	63	9059	23	97	8077	41
9646	12	64	9036	23	98	8034	43
9634	12	65	9013	23	99	7988	46
9622	13	66	8989	24	100	7939	49
9609	13	67	8965	24			

No. 2.

100 Maas Weingeist, dessen scheinbares spec. Gewicht, durch gefäss bestimmt, bei nachstehenden Graden Fahrh. die angegeben besitzt, würden auf 60° F. abgekühlt oder erwärmt, an Alkohol von Gewicht und 60° F. enthalten.

Maase Alkohol.	30°	35°	40°	45°	50°	55°	60°	65°	70°	75°
0	9994	9997	9997	9998	9997	9994	9991	9987	9981	9976
5	9924	9926	9926	9926	9925	9922	9919	9915	9909	9903
10	9868	9869	9868	9867	9865	9861	9857	9852	9845	9839
15	9823	9822	9820	9817	9813	9807	9802	9796	9788	9779
20	9786	9782	9777	9772	9766	9759	9751	9743	9733	9723
25	9752	9745	9737	9729	9720	9709	9700	9690	9678	9666
30	9715	9705	9694	9683	9671	9658	9646	9633	9619	9605
35	9668	9655	9641	9627	9612	9598	9583	9567	9551	9535
40	9609	9594	9577	9560	9544	9527	9510	9463	9474	9456
45	9535	9518	9500	9482	9464	9445	9427	9408	9388	9369
50	9449	9431	9413	9393	9374	9354	9335	9315	9294	9274
55	9354	9335	9316	9295	9275	9254	9234	9213	9192	9171
60	9249	9230	9210	9189	9168	9147	9126	9105	9083	9061
65	9140	9120	9099	9078	9056	9034	9013	8992	8969	8947
70	9021	9001	8980	8958	8936	8913	8892	8870	8847	8825
75	8896	8875	8854	8832	8810	8787	8765	8743	8720	8697
80	8764	8743	8721	8699	8676	8653	8631	8609	8585	8562
85	8623	8601	8579	8556	8533	8510	8488	8465	8441	8418
90	8469	8446	8423	8401	8379	8355	8332	8309	8285	8262

No. 3.

Maas Weingeist, dessen scheinbares specifisches Gewicht, durch ein ias bestimmt, bei nachstehenden Temperaturen Fahrh. die angegebenen besitzt, enthalten bei denselben Temperaturen an Alkohol von :c. Gewicht und 60° F.

se ol.	30°	35°	40°	45°	50°	55°	60°	65°	70°	75°	80°	85°
-	9994	9997	9997	9998	9997	9994	9991	9987	9981	9976	9970	9962
	9924	9926	9926	9926	9925	9922	9919	9915	9909	9903	9897	9889
	9868	9869	9868	9867	9865	9861	9857	9852	9845	9839	9831	9823
	9823	9822	9820	9817	9813	9807	9802	9796	9788	9779	9771	9761
	9786	9782	9777	9772	9766	9759	9751	9743	9733	9722	9711	9700
	9753	9746	9738	9729	9720	9709	9700	9690	9678	9665	9652	9638
	9717	9707	9695	9684	9672	9659	9646	9632	9618	9603	9588	9572
	9671	9658	9644	9629	9614	9599	9583	9566	9549	9532	9514	9495
	9615	9598	9581	9563	9546	9528	9510	9491	9472	9452	9433	9412
	9544	9525	9506	9486	9467	9447	9427	9406	9385	9364	9342	9320
	9460	9440	9420	9399	9378	9356	9335	9313	9290	9267	9244	9221
	9368	9347	9325	9302	9279	9256	9234	9211	9187	9163	9139	9114
	9267	9245	9222	9198	9174	9150	9126	9102	9076	9051	9026	9000
	9162	9138	9113	9088	9063	9038	9013	8988	8962	8936	8909	8882
	9046	9021	8996	8970	8944	8917	8892	8866	8839	8812	8784	8756
	8925	8899	8873	8847	8820	8792	8765	8738	8710	8681	8652	8622
	8798	8771	8744	8716	8688	8659	8631	8602	8573	8544	8514	8483
	8663	8635	8606	8577	8547	8517	8488	8458	8427	8396	8365	8333
	8517	8486	8455	8425	8395	8363	8332	8300	8268	8236	8204	8171

100 Maas Weingeist, dessen scheinbarer Gehalt in Volumprocen
Temperatur abgeleitet, aber in der mit dieser Temperatur überschrieb

7939

Wahre Volum-proc.	Temperatur 4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°
10	9,1	9,1	9,2	9,3	9,4	9,5	9,6	9,8
11	9,9	10,0	10,1	10,2	10,3	10,4	10,5	10,7
12	10,8	10,9	11,0	11,1	11,2	11,3	11,5	11,7
13	11,7	11,8	11,9	12,0	12,1	12,3	12,5	12,6
14	12,6	12,7	12,8	12,9	13,0	13,2	13,4	13,6
15	13,4	13,5	13,6	13,8	13,9	14,2	14,4	14,6
16	14,2	14,4	14,6	14,7	14,9	15,1	15,4	15,6
17	15,1	15,3	15,5	15,6	15,8	16,0	16,3	16,6
18	15,9	16,1	16,3	16,5	16,7	17,0	17,3	17,5
19	16,7	16,9	17,2	17,4	17,6	17,9	18,2	18,5
20	17,5	17,8	18,0	18,3	18,5	18,8	19,2	19,5
21	18,3	18,6	18,9	19,1	19,4	19,9	20,1	20,1
22	19,1	19,4	19,7	20,0	20,3	20,7	21,0	21,4
23	19,9	20,2	20,6	20,9	21,2	21,6	22,0	22,3
24	20,7	21,0	21,4	21,8	22,1	22,5	22,9	23,3
25	21,6	22,0	22,3	22,7	24,0	23,5	23,9	24,3
26	22,4	22,7	23,1	23,6	23,9	24,5	24,8	25,3
27	23,1	23,6	24,0	24,5	24,9	25,4	25,8	26,3
28	24,0	24,5	24,9	25,4	25,8	26,3	26,8	27,3
29	24,9	25,4	25,9	26,3	26,8	27,3	27,8	28,2
30	25,7	26,2	26,8	27,2	27,7	28,2	28,7	29,2
31	26,7	27,2	27,8	28,2	28,7	29,2	29,7	30,2
32	27,7	28,2	28,8	29,3	29,8	30,3	30,8	31,3
33	28,7	29,2	29,8	30,3	30,8	31,3	31,8	32,3
34	29,7	30,2	30,8	31,3	31,8	32,3	32,8	33,3
35	30,7	31,2	31,8	32,3	33,0	33,3	33,8	34,3
36	31,7	32,2	32,8	33,3	33,8	34,3	34,8	35,3
37	32,7	33,2	33,8	34,3	34,8	35,3	35,8	36,3
38	33,6	34,2	34,8	35,3	35,8	36,3	36,8	37,3
39	34,6	35,2	35,8	36,3	36,8	37,3	37,8	38,3
40	35,7	36,2	36,8	37,3	37,8	38,3	38,8	39,3
41	36,7	37,2	37,7	38,3	38,8	39,3	39,8	40,3
42	37,7	38,2	38,7	39,3	39,8	40,3	40,8	41,3
43	38,8	39,3	39,8	40,3	40,8	41,3	41,8	42,3
44	39,8	40,3	40,8	41,3	41,8	42,3	42,8	43,3
45	40,9	41,4	41,8	42,4	42,8	43,3	43,8	44,3
46	41,9	42,4	42,9	43,4	43,8	44,3	44,8	45,3
47	42,9	43,4	43,9	44,4	44,9	45,4	45,8	46,3
48	43,9	44,4	44,9	45,4	45,9	46,4	46,8	47,3
49	45,0	45,5	45,9	46,4	46,9	47,4	47,8	48,3
50	46,0	46,5	47,0	47,5	48,0	48,4	48,9	49,3
51	47,0	47,5	48,0	48,5	49,0	49,4	49,9	50,3
52	48,1	48,6	49,0	49,6	50,0	50,4	50,9	51,3
53	49,1	49,6	50,0	50,5	51,0	51,4	51,9	52,3

…chte bei nachstehenden Graden Réaumür, ohne Berücksichtigung der … ist, würden auf 12°,5 R. abgekühlt oder erwärmt, an Alkohol von …5 R. enthalten.

…ratur … R.	Temperatur								
…e …v. proc.	13°	14°	15°	16°	17°	18°	19°	20°	Wahre Volum-proc
8,1	10,1	10,3	10,5	10,8	11,0	11,3	11,5	11,8	10
8,9	11,1	11,3	11,6	11,8	12,1	12,4	12,6	12,9	11
9,7	12,1	12,4	12,6	12,9	13,2	13,5	13,7	14,0	12
10,5	13,1	13,4	13,6	13,9	14,2	14,6	14,9	15,2	13
11,3	14,1	14,4	14,7	15,0	15,3	15,6	16,0	16,3	14
12,1	15,2	15,5	15,8	16,0	16,4	16,8	17,1	17,5	15
12,9	16,1	16,5	16,8	17,1	17,5	17,9	18,3	18,7	16
13,8	17,2	17,5	17,9	18,2	18,6	19,0	19,5	19,9	17
14,7	18,2	18,6	18,9	19,3	19,7	20,1	20,6	21,0	18
15,5	19,2	19,6	20,0	20,4	20,8	21,2	21,7	22,1	19
16,3	20,2	20,6	21,0	21,4	21,8	22,3	22,8	23,1	20
17,2	21,2	21,6	22,0	22,4	22,9	23,3	23,8	24,2	21
18,0	22,2	22,6	23,0	23,4	23,9	24,3	24,8	25,4	22
18,9	23,2	23,6	24,0	24,5	25,0	25,4	25,9	26,4	23
19,8	24,2	24,6	25,1	25,5	26,0	26,5	27,0	27,5	24
20,5	25,3	25,7	26,1	26,6	27,1	27,6	28,1	28,6	25
21,4	26,2	26,7	27,1	27,6	28,2	28,7	29,2	29,7	26
22,1	27,2	27,7	28,1	28,6	29,2	29,7	30,2	30,7	27
22,9	28,3	28,7	29,2	29,7	30,2	30,7	31,2	31,8	28
23,8	29,2	29,7	30,2	30,7	31,3	31,8	32,3	32,8	29
24,7	30,2	30,7	31,2	31,8	32,3	32,8	33,3	33,8	30
25,6	31,3	31,8	32,3	32,8	33,3	33,8	34,3	34,8	31
26,4	32,3	32,8	33,3	33,8	34,3	34,8	35,4	35,9	32
27,3	33,3	33,8	34,3	34,8	35,3	35,8	36,4	36,9	33
28,1	34,3	34,8	35,3	35,8	36,3	36,9	37,4	37,9	34
29,0	35,3	35,8	36,3	36,9	37,4	37,9	38,4	38,9	35
29,9	36,3	36,9	37,4	37,9	38,3	38,8	39,3	39,8	36
30,8	37,3	37,9	38,4	38,9	39,3	39,8	40,3	40,8	37
31,7	38,3	38,8	39,3	39,8	40,3	40,8	41,3	41,8	38
32,5	39,3	39,8	40,3	40,8	41,3	41,8	42,2	42,8	39
33,4	40,3	40,8	41,3	41,8	42,2	42,7	43,2	43,7	40
34,3	41,3	41,8	42,3	42,8	43,2	43,7	44,2	44,7	41
35,2	42,3	42,8	43,3	43,8	44,2	44,7	45,2	45,7	42
36,1	43,3	43,8	44,3	44,8	45,2	45,7	46,2	46,7	43
37,0	44,3	44,7	45,2	45,7	46,2	46,7	47,2	47,7	44
37,9	45,3	45,7	46,2	46,7	47,2	47,7	48,2	48,6	45
38,8	46,3	46,7	47,2	47,7	48,2	48,7	49,2	49,6	46
39,7	47,2	47,7	48,2	48,7	49,2	49,6	50,2	50,6	47
40,7	48,2	48,7	49,2	49,7	50,2	50,6	51,1	51,6	48
41,7	49,3	49,7	50,2	50,7	51,1	51,6	52,0	52,5	49
42,6	50,2	50,7	51,2	51,6	52,0	52,5	53,0	53,4	50
43,5	51,3	51,7	52,1	52,6	53,0	53,5	53,9	54,4	51
44,4	52,2	52,7	53,1	53,6	54,0	54,5	54,9	55,4	52
45,4	53,2	53,7	54,1	54,6	55,0	55,5	55,9	56,4	53

Wahre Volum-proc.	Temperatur.							
	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°
54	50,1	50,6	51,1	51,5	52,0	52,4	52,9	53,3
55	51,2	51,6	52,1	52,5	53,0	53,4	53,9	54,3
56	52,2	52,7	53,1	53,6	54,0	54,4	54,9	55,4
57	53,3	53,7	54,2	54,6	55,0	55,5	[illegible]	[illegible]
58	54,3	54,7	55,2	55,6	56,1	56,5	56,9	57,4
59	55,3	55,7	56,2	56,6	57,1	57,5	[illegible]	58,4
60	56,3	56,8	57,2	57,6	58,1	58,5	59,0	59,4
61	57,4	57,8	58,2	58,6	59,1	59,5	60,0	60,4
62	58,4	58,8	59,2	59,7	60,1	60,5	61,0	61,4
63	59,4	59,8	60,2	60,7	61,1	61,5	62,0	62,4
64	60,4	60,8	61,2	61,7	62,1	62,5	63,0	[illegible]
65	61,4	61,8	62,3	62,7	63,1	63,5	64,0	64,4
66	62,4	62,9	63,3	63,7	[illegible]	64,6	65,0	65,4
67	63,4	63,9	64,3	64,8	[illegible]	[illegible]	66,0	66,4
68	64,5	64,9	65,3	65,8	66,2	66,6	67,0	67,4
69	65,5	[illegible]	66,4	66,8	67,2	67,6	68,0	68,4
70	66,5	67,0	67,4	67,8	68,2	68,6	69,0	69,4
71	67,6	68,0	68,4	68,9	69,2	69,6	70,0	70,4
72	68,6	69,0	69,4	69,9	70,2	70,6	71,0	71,4
73	69,6	70,0	70,4	70,9	71,2	71,6	72,0	72,4
74	70,6	71,0	71,4	71,9	72,2	72,6	73,0	73,4
75	71,7	72,1	72,5	72,9	73,3	73,7	74,1	74,4
76	72,7	73,1	73,5	73,9	74,3	74,7	75,1	75,5
77	73,7	74,1	74,5	74,9	75,3	75,7	76,1	76,5
78	74,8	75,2	75,6	75,9	76,3	76,7	77,1	77,5
79	75,8	76,2	76,6	76,9	77,3	77,7	78,1	78,5
80	76,9	77,2	77,6	78,0	78,3	78,7	79,1	79,5
81	77,9	78,3	78,6	79,0	79,4	79,7	80,1	80,5
82	78,9	79,3	79,7	80,0	80,4	80,8	81,1	81,5
83	80,0	80,3	80,7	81,1	81,4	81,8	82,1	82,5
84	81,0	81,4	81,7	82,1	82,5	82,8	83,2	83,5
85	82,0	82,4	82,8	83,1	83,5	83,8	84,2	84,5
86	83,1	83,5	83,8	84,2	84,5	84,8	85,2	85,5
87	84,2	84,5	84,9	85,2	85,5	85,9	86,2	86,5
88	85,2	85,6	85,9	86,2	86,6	86,9	87,2	87,5
89	86,3	86,6	86,9	87,3	87,6	87,9	88,2	88,5
90	87,3	87,6	88,0	88,3	88,6	88,9	89,2	89,5

Temperatur.								
13°	14°	15°	16°	17°	18°	19°	20°	Wahre Volum-proc.
54,2	54,7	55,1	55,6	56,0	56,5	56,9	57,4	54
55,2	55,7	56,1	56,6	57,0	57,4	57,9	58,3	55
56,2	56,7	57,1	57,6	58,0	58,4	58,9	59,3	56
57,2	57,7	58,1	58,6	59,0	59,4	59,9	60,3	57
58,2	58,7	59,1	59,6	60,0	60,4	60,9	61,3	58
59,2	59,7	60,1	60,6	61,0	61,4	61,9	62,3	59
60,2	60,7	61,1	61,6	62,0	62,4	62,9	63,3	60
61,2	61,7	62,1	62,5	63,0	63,4	63,8	64,3	61
62,2	62,7	63,1	63,5	63,9	64,4	64,8	65,3	62
63,2	63,7	64,1	64,5	64,9	65,4	65,8	66,2	63
64,2	64,7	65,1	65,5	65,9	66,3	66,8	67,2	64
65,2	65,6	66,1	66,5	66,9	67,3	67,7	68,1	65
66,2	66,6	67,1	67,5	67,9	68,3	68,7	69,1	66
67,2	67,6	68,1	68,5	68,9	69,3	69,7	70,1	67
68,2	68,6	69,0	69,4	69,9	70,3	70,7	71,1	68
69,2	69,6	70,0	70,4	70,9	71,3	71,7	72,1	69
70,2	70,6	71,0	71,4	71,9	72,3	72,7	73,1	70
71,2	71,6	72,0	72,4	72,8	73,2	73,6	74,0	71
72,2	72,6	73,0	73,4	73,8	74,2	74,6	75,0	72
73,2	73,6	74,0	74,4	74,8	75,2	75,6	76,0	73
74,2	74,6	75,0	75,4	75,8	76,2	76,6	77,0	74
75,2	75,6	76,0	76,4	76,8	77,1	77,5	77,9	75
76,2	76,6	77,0	77,3	77,7	78,1	78,5	78,9	76
77,2	77,6	77,9	78,3	78,7	79,1	79,5	79,9	77
78,2	78,6	78,9	79,3	79,7	80,1	80,5	80,9	78
79,2	79,6	79,9	80,3	80,7	81,1	81,5	81,9	79
80,2	80,6	80,9	81,3	81,6	82,0	82,4	82,8	80
81,2	81,6	81,9	82,3	82,6	83,0	83,4	83,8	81
82,2	82,6	82,9	83,3	83,6	84,0	84,4	84,7	82
83,2	83,6	83,9	84,3	84,6	85,0	85,3	85,7	83
84,2	84,6	84,9	85,2	85,6	85,9	86,3	86,7	84
85,2	85,5	85,9	86,2	86,6	86,9	87,3	87,6	85
86,2	86,5	86,9	87,2	87,6	87,9	88,2	88,6	86
87,2	87,5	87,9	88,2	88,6	88,9	89,2	89,5	87
88,2	88,5	88,9	89,2	89,5	89,9	90,2	90,5	88
89,2	89,5	89,8	90,1	90,5	90,8	91,1	91,4	89
90,2	90,5	90,8	91,1	91,4	91,7	92,1	92,4	90

No. 5.

Alkoholometerscale für Volumprocente bei 60° F. oder 12°,5 R.

Alkoholgehalt. Volume.	Länge des einsinkenden Theils v. Halse.	Grösse der Abtheilungen.	Alkoholgehalt. Volume.	Länge des einsinkenden Theils v. Halse.	Grösse der Abtheilungen.	Alkoholgehalt. Volume.	Länge des einsinkenden Theils v. Halse.
0	9		34	420	13	68	1184
1	24	15	35	434	14	69	1215
2	39	15	36	449	15	70	1246
3	54	15	37	465	16	71	1278
4	68	14	38	481	16	72	1310
5	82	14	39	498	17	73	1342
6	95	13	40	515	17	74	1375
7	108	13	41	533	18	75	1409
8	121	13	42	551	18	76	1443
9	133	12	43	569	18	77	1478
10	145	12	44	588	19	78	1514
11	157	12	45	608	20	79	1550
12	169	12	46	628	20	80	1587
13	180	11	47	648	20	81	1624
14	191	11	48	669	21	82	1662
15	202	11	49	690	21	83	1701
16	213	11	50	712	22	84	1740
17	224	11	51	735	23	85	1781
18	235	11	52	758	23	86	1823
19	245	10	53	782	24	87	1866
20	256	10	54	806	24	88	1910
21	266	10	55	830	24	89	1955
22	277	11	56	854	24	90	2002
23	288	11	57	879	25	91	2050
24	299	11	58	905	26	92	2099
25	310	11	59	931	26	93	2150
26	321	11	60	957	26	94	2203
27	332	11	61	984	27	95	2259
28	344	12	62	1011	27	96	2318
29	355	11	63	1039	28	97	2380
30	367	12	64	1067	28	98	2447
31	380	13	65	1096	29	99	2519
32	393	13	66	1125	29	100	2597
33	407	14	67	1154	29		

;fel. *Bestimmung des Gehaltes einiger verdünnt*
n und Alkalien aus ihrem specifischen Gewichte

No. 1.

·ichtstheile verdünnter Schwefelsäure, deren spec. Gewicht bei 15°,5 ist, enthalten (nach Ure) an concentrirter und wasserfreier Säu

te	Spec. Gewicht der verdünnten Säure.	Wasserfreie Säure.	Concentrirte Säure.	Spec. Gewicht der verdünnten Säure.	Wasserfreie Säure.
	1,8485	81,54	58	1,4660	47,29
	1,8475	80,72	57	1,4560	46,58
	1,8460	79,90	56	1,4460	45,66
	1,8439	79,09	55	1,4360	44,85
	1,8410	78,28	54	1,4265	44,03
	1,8376	77,40	53	1,4170	43,22
	1,8336	76,65	52	1,4073	42,40
	1,8290	75,83	51	1,3977	41,58
	1,8233	75,02	50	1,3884	40,77
	1,8179	74,20	49	1,3788	39,95
	1,8115	73,39	48	1,3697	39,14
	1,8043	72,57	47	1,3612	38,32
	1,7962	71,75	46	1,3530	37,51
	1,7870	70,94	45	1,3440	36,69
	1,7774	70,12	44	1,3345	35,88
	1,7673	69,31	43	1,3255	35,06
	1,7570	68,49	42	1,3165	34,25
	1,7465	67,68	41	1,3080	33,43
	1,7360	66,86	40	1,2999	32,61
	1,7245	66,05	39	1,2913	31,80
	1,7120	65,23	38	1,2826	30,98
	1,6993	64,42	37	1,2740	30,17
	1,6870	63,60	36	1,2651	29,35
	1,6750	62,78	35	1,2572	28,54
	1,6630	61,97	34	1,2490	27,72
	1,6520	61,15	33	1,2409	26,91
	1,6115	60,34	32	1,2334	26,09
	1,6321	59,52	31	1,2260	25,28
	1,6204	58,71	30	1,2184	24,46
	1,6090	57,89	29	1,2108	23,65
	1,5975	57,08	28	1,2032	22,83
	1,5868	56,26	27	1,1956	22,01
	1,5760	55,45	26	1,1876	21,20
	1,5648	54,63	25	1,1792	20,38
	1,5503	53,82	24	1,1706	19,57
	1,5390	53,00	23	1,1626	18,75
	1,5280	52,18	22	1,1549	17,94
	1,5170	51,37	21	1,1480	17,12
	1,5066	50,55	20	1,1410	16,31
	1,4960	49,74	19	1,1330	15,49
	1,4860	48,62	18	1,1246	14,68
	1,4060	48,11	17	1,1165	13,86

Concentrirte Säure	Spec. Gewicht der verdünnten Säure	Wasserfreie Säure	Concentrirte Säure	Spec. Gewicht der verdünnten Säure	Wa[illegible]
16	1,1090	13,05	8	1,0544	
15	1,1019	12,23	7	1,0477	
14	1,0953	11,41	6	1,0405	
13	1,0887	10,60	5	1,0336	
12	1,0809	9,78	4	1,0268	
11	1,0743	8,97	3	1,0206	
10	1,0682	8,15	2	1,0140	
9	1,0614	7,34	1	1,0074	0,

No. 2.

100 Gewichtstheile einer Salpetersäure, welche das in der ersten [illegible] angegebene spec. Gewicht besitzt, enthalten (nach Ure) an hypothet[illegible] serfreier Salpetersäure.

Spec. Gew	Procente an Säure.	Spec. Gew	Procente an Säure	Spec. Gew.
1,5000	79,700	1,4880	75,715	1,4730
1,4980	78,903	1,4850	74,918	1,4700
1,4960	78,106	1,4820	74,121	1,4670
1,4940	77,309	1,47[illegible]	73,324	1,4640
1,4910	76,512	1,4760	[illegible],527	1,4[illegible]
1,4570	67,745	1,3270	44,632	1,1587
1,4530	66,948	1,3216	43,835	1,1526
1,4500	66,155	1,3163	43,038	1,1465
1,4460	65,354	1,3110	42,241	1,1403
1,4424	64,557	1,3056	41,444	1,1345
1,4385	63,760	1,3001	40,647	1,1286
1,4346	62,963	1,2947	39,850	1,1227
1,4306	62,166	1,2887	39,053	1,1168
1,4269	61,369	1,2826	38,256	1,1109
1,4228	60,572	1,2765	37,459	1,1051
1,4189	59,775	1,2705	36,662	1,0993
1,4147	58,978	1,2644	35,865	1,0935
1,4107	58,181	1,2583	35,068	1,0878
1,4065	57,384	1,2523	34,271	1,0821
1,4023	56,587	1,2462	33,474	1,0764
1,3978	55,790	1,2402	32,677	1,0708
1,3945	54,993	1,2341	31,880	1,0651
1,3882	54,196	1,2277	31,083	1,0595
1,3833	53,399	1,2212	30,286	1,0540
1,3783	52,602	1,2148	29,489	1,0485
1,3732	51,805	1,2084	28,692	1,0430
1,3681	51,068	1,2019	27,895	1,0375
1,3630	50,211	1,1958	27,098	1,0320
1,3579	49,414	1,1895	26,301	1,0267
1,3529	48,618	1,1833	25,504	1,0212
1,3477	47,820	1,1770	24,707	1,0159
1,3427	47,023	1,1709	23,910	1,0106
1,3376	46,226	1,1648	23,113	1,0053
1,3323	45,429			

No. 3.

100 Gewichtstheile einer Salzsäure, welche bei 7°,22 C. das angegebene Gewicht besitzt, enthalten (nach E. Davy) an chlorwasserstoffsaurem

Spec. Gew.	Chlorwasserstoffsäure in Procent.	Spec. Gew.	Chlorwasserstoffsäure in Procent.
1,21	42,43	1,10	20,20
1,20	40,80	1,09	18,18
1,19	38,38	1,08	16,16
1,18	36,36	1,07	14,14
1,17	34,34	1,06	12,12
1,16	32,32	1,05	10,10
1,15	30,30	1,04	8,08
1,14	28,28	1,03	6,00
1,13	26,26	1,02	4,04
1,12	24,24	1,01	2,02
1,11	22,22		

No. 4.

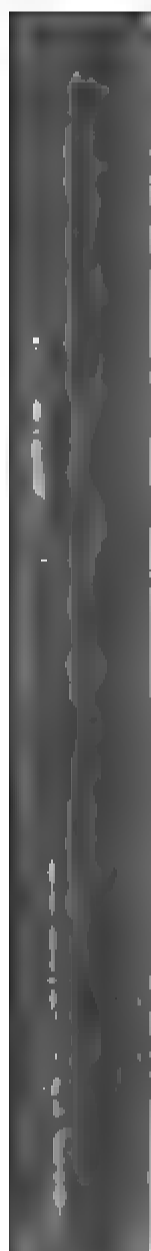
100 Gewichtstheile Aetzkali-Lauge vom angegebenen spec. Gewichte halten (nach Dalton) an wasserfreiem Aetzkali.

Gew. der Lösung.	Kaligehalt nach p. C.	Spec. Gew. der Lösung.	Kaligehalt nach p. C.
1,68	51,2	1,33	26,3
1,60	46,7	1,28	23,4
1,52	42,9	1,23	19,5
1,47	39,6	1,19	16,2
1,44	36,8	1,15	13,0
1,42	34,4	1,11	9,5
1,39	32,4	1,06	4,7
1,36	29,4		

No. 5.

100 Gewichtstheile Aetznatron-Lauge vom angegebenen spec. Gewichte halten (nach Dalton) an wasserfreiem Aetznatron.

Gew. der Lösung.	Natrongehalt in p. C.	Spec. Gew. der Lösung.	Natrongehalt in p. C.
2,00	77,8	1,40	29,0
1,85	63,6	1,36	26,0
1,72	53,8	1,32	23,0
1,63	46,6	1,29	19,0
1,56	41,2	1,23	16,0
1,50	36,8	1,18	13,0
1,47	34,0	1,12	9,0
1,44	31,0	1,06	4,7



'afel. *Absorptionsvermögen fester und flüssiger Körper, bei Berührung mit Gasen.*

(Nach Beobachtungen von Theodor von Saussure.)

: Körper, bei 15° Temperatur und unter 0,73 Metre Druck.

n des Körpers, trocken el, absorbirt Volumina lgender Gase.	Buchsbaumkohle in ganzen Stücken.	Klebschiefer.	Meerschaum.	Holzasbest.	Hydrophan.	Gyps.	Bergmilch.	Haselholz.	Leinfaden.	Wolle.	Seide.
gas	90	113	15,0	12,75	64,0	...	...	100	68	...	78
erstoffgas	85	...	...	..	17,0	...	...	...	..	...	...
saures Gas	65	...	...	..	7,37	...	...	..	..	..	...
asserstoffgas	55	...	11,7	...	...	...	...	..	..	..	...
xydulgas	40	..	3,75	..	...	...	...	...	..	..	...
res Gas	35	2,0	5,26	1,7	1,0	0,43	0,87	1,1	0,82	1,7	1,1
es Gas	35	1,5	3,7	1,7	0,8	.	...	0,71	0,48	0,57	0,5
dgas	9,42	0,55	1,17	0,58	...	...	...	0,58	0,35	0,3	0,3
gas	9,25	0,7	1,49	0,47	0,6	0,58	0,67	0,47	0,35	0,43	0,44
as	7,50	0,7	1,6	0,47	0,6	0,53	0,50	0,21	0,33	0,24	0,13
ffgas	1,75	0,48	0,44	0,31	0,4	0,50	0,80	0,58	0,35	0,3	0,3

2. Flüssige Körper bei 18° C.

n der Flüssigkeit absor- mina folgender Gase.	Wasser, luftfrei, chemisch rein.	Alkohol von 0,84 spec. Gewicht, luftfrei.	Steinöl.	Lavendelöl.	Baumöl.	Gesättigte Lösung von Chlorkalium.
saures Gas	43,78	166,77	...	...	...	...
asserstoffgas	2,53	6,06	...	...	...	...
res Gas	1,06	1,87	1,60	1,91	1,51	0,61
xydulgas	0,76	1,53	2,54	2,75	1,50	0,29
les Gas	0,155	1,27	2,61	2,09	1,22	0,10
gas	0,065	0,163	...	...	...	...
dgas	0,062	0,145	0,20	0,156	0,52	0,052
ffgas	0,046	0,051	...	...	...	...
as	0,042	0,042	...	...	...	...

XIV. Tafel. Siedpunct des reinen Wassers bei vers denen Barometerständen.

Grad der Siedhitze. C.	Barometerstand. Par. Linien.	Unterschied
101°	349,00	6,05
100,5	342,95	6,05
100	336,90	6,05
99,5	330,85	6,05
99	324,80	6,00
98,5	318,80	5,93
98	312,87	5,80
97,5	307,07	5,59
97	301,48	5,26
96,5	296,22	4,88
96	291,34	

XV. Tafel. Grösste Spannkräfte des Wasserdam

a) — 20 bis + 35° C., ausgedrückt in Par. Linien Quecksilber

Temperaturen.	Spannkräfte. Par. Linien.	Temperaturen.	Spannkräfte. Par. Linien.	Temperaturen.	Spann Par. Li
[illegible]	[illegible]	— 7,5	1,32	+ 4,5	[illegible]
[illegible]	[illegible]	— [illegible]	1,37	5	[illegible]
[illegible]	[illegible]	— 6,5	1,42	5,5	[illegible]
[illegible]	[illegible]	— 6	1,47	6	[illegible]
[illegible]	[illegible]	— 5,5	1,52	6,5	[illegible]
[illegible]	[illegible]	— 5	1,58	7	[illegible]
[illegible]	[illegible]	— 4,5	1,64	7,5	3,7
[illegible]	[illegible]	— 4	1,70	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	— 3,5	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	— 3	[illegible]	9	[illegible]
[illegible]	[illegible]	— 2,5	[illegible]	9,5	[illegible]
[illegible]	[illegible]	— 2	[illegible]	10	[illegible]
[illegible]	[illegible]	— [illegible]	[illegible]	10,5	[illegible]
[illegible]	[illegible]	— [illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	— [illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	5,11
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	5,44
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	5,61
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	5,78
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	5,96
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	6,14
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]

…era-…n.	Spannkräfte. Par. Linien.	Temperaturen.	Spannkräfte. Par Linien.	Temperaturen.	Spannkräfte. Par Linien.
7	6,72	+ 23,5	9,91	+ 30	14,36
7,5	6,93	24	10,20	30,5	14,77
[illegible]	7,14	24,5	10,50	31	15,19
[illegible],5	7,26	25	10,81	31,5	15,62
[illegible]	7,49	25,5	11,12	32	16,06
[illegible],5	7,83	26	11,44	32,5	16,51
[illegible]	8,07	26,5	11,77	33	16,97
[illegible],5	8,32	27	12,11	33,5	17,44
	8,57	27,5	12,46	34	17,92
[illegible],5	8,83	28	12,82	34,5	18,41
[illegible]	9,09	28,5	13,19	35	18,91
[illegible],5	9,36	29	13,57		
[illegible]	9,63	29,5	13,96		

Die Spannkräfte (e) ausgedrückt in Atmosphären von Mtr. 0,760; die Temperaturen (t) in Graden C.

t	Unterschiede d.Temp.	e	t	Unterschiede d.Temp.	e	t	Unterschiede d.Temp.
32,564	14,000	1,75	116,517	0,849	5,75	158,195	1,685
46,564	8,762	1,80	117,366	1,699	6,00	159,880	1,629
56,626	5,270	1,90	119,065	1,629	6,25	161,509	1,578
60,896	4,819	2,00	120,694	1,564	6,50	163,087	1,530
65,715	4,063	2,10	122,258	2,239	6,75	164,617	1,487
69,778	3,534	2,25	124,497	2,125	7,00	166,104	1,445
73,312	3,125	2,40	126,622	1,351	7,25	167,549	1,404
76,437	2,810	2,50	127,973	1,314	7,50	168,953	1,369
79,247	2,579	2,60	129,287	1,892	7,75	170,322	1,333
81,826	2,264	2,75	131,179	1,817	8,00	171,655	1,300
84,090	2,180	2,90	132,996	1,188	8,25	172,955	1,271
86,270	2,130	3,00	134,184	1,156	8,50	174,226	1,240
88,400	1,933	3,10	135,340	1,614	8,75	175,466	1,211
90,333	1,807	3,25	136,954	1,572	9,00	176,677	1,184
92,140	1,757	3,40	138,516	1,061	9,25	177,864	1,157
93,897	1,615	3,50	139,577	1,009	9,50	179,021	1,133
95,512	1,579	3,60	140,586	1,478	9,75	180,154	1,119
97,091	1,497	3,75	142,054	1,425	10,00	181,273	1,092
98,588	1,412	3,90	143,479	0,924	10,25	182,365	1,069
100,000	2,684	4,00	144,403	0,906	10,50	183,434	1,051
102,684	2,595	4,10	145,309	1,328	10,75	184,465	1,030
105,179	1,182	4,25	146,637	1,300	11,10	185,515	1,014
106,361	1,149	4,40	147,937	0,832	11,25	186,529	0,994
107,510	2,190	4,50	148,769	2,066	11,50	187,523	0,977
109,700	2,049	4,75	150,835	1,928	11,75	188,500	0,961
111,749	1,979	5,00	152,763	1,880	12,00	189,461	0,946
113,728	1,862	5,25	154,643	1,808	12,25	190,407	0,931
115,590	0,927	5,50	156,451	1,744	12,50	191,338	0,913
116,517		5,75	158,195		12,75	192,251	

e	t	Unterschiede d. Temp.	e	t	Unterschiede d. Temp.	e	t	Unterschiede d. Temp.
12,75	192,251	0,902	20,25	214,707	0,625	31,50	238,192	[illegible]
13,00	193,153	0,887	20,50	215,332	0,619	32,00	239,070	[illegible]
13,25	194,040	0,874	20,75	215,951	0,612	32,5	239,931	[illegible]
13,50	194,914	0,861	21,00	216,563	0,607	33,0	240,789	[illegible]
13,75	195,775	0,848	21,25	217,170	0,600	33,5	241,633	[illegible]
14,00	196,623	0,837	21,50	217,770	0,595	34,0	242,464	[illegible]
14,25	197,460	0,826	21,75	218,365	0,591	34,5	243,290	[illegible]
14,50	198,286	0,814	22,00	218,956	0,584	35,0	244,105	[illegible]
14,75	199,100	0,802	22,25	219,540	0,579	35,5	244,910	[illegible]
15,00	199,902	0,791	22,50	220,119	0,576	36,0	245,706	[illegible]
15,25	200,693	0,783	22,75	220,695	0,569	36,5	246,495	[illegible]
15,50	201,476	0,773	23,00	221,263	0,564	37,0	247,272	[illegible]
15,75	202,249	0,762	23,25	221,827	0,561	37,5	248,045	[illegible]
16,00	203,011	0,754	23,50	222,388	0,554	38,0	248,806	[illegible]
16,25	203,765	0,743	23,75	222,942	0,550	38,5	249,561	[illegible]
16,50	204,508	0,734	24,00	223,492	1,087	39,0	250,309	[illegible]
16,75	205,242	0,726	24,50	224,579	1,070	39,5	251,052	[illegible]
17,00	205,968	0,718	25,00	225,649	1,053	40,0	251,779	[illegible]
17,25	206,686	0,709	25,50	226,702	1,034	41,0	253,220	[illegible]
17,50	207,395	0,700	26,00	227,736	1,021	42,0	254,635	[illegible]
17,75	208,095	0,695	26,50	228,757	1,007	43,0	256,020	[illegible]
18,00	208,790	0,686	27,00	229,764	0,988	44,0	257,382	[illegible]
18,25	209,476	0,677	27,50	230,752	0,975	45,0	258,720	[illegible]
18,50	210,153	0,672	28,00	231,727	0,961	46,0	260,033	[illegible]
18,75	210,825	0,664	28,50	232,688	0,950	47,0	[illegible]	[illegible]
19,00	211,489	0,656	29,00	233,638	0,934	48,0	262,591	[illegible]
19,25	212,145	0,652	29,50	234,572	0,924	49,0	[illegible]	[illegible]
19,50	212,797	0,641	30,00	235,496	0,909	50,0	265,064	
19,75	213,438	0,638	30,50	236,405	0,900			
10,00	214,076	0,631	31,00	237,305	0,887			
20,25	214,707		31,50	238,192				

Werden die unter e befindlichen Zahlenwerthe mit 1,0337 multiplici[rt], findet man den Druck des Dampfes auf 1 Q. Centimeter Fläche in Kilog[ram]men. Durch Multiplication derselben Werthe mit 1092,7, den Druck auf 1 Q. F. Fläche ebenfalls in Kilogrammen (196.)

afel der Spannkräfte des Wasserdampfs, berechnet nach neuen Versuchen von Magnus und nach der Formel

$$e^{mm} = 4,525 . 10^{\frac{7,44751}{234,69+t}}$$

t	e	t	e	t	e	t	e	t	e
C.	mm	°C.	mm	°C.	mm	°C.	mm	°C.	mm
20	0,916	+8	7,964	36	44,268	64	178,397	[illegible]	566,147
19	0,999	9	8,525	37	46,758	65	186,601	93	587,836
[illegible]	1,089	10	9,126	38	49,368	66	195,124	94	610,217
17	1,186	11	9,751	39	52,193	67	203,975	95	633,305
16	1,290	12	10,421	40	54,969	68	213,166	96	657,120
15	1,403	13	11,130	41	57,969	69	222,706	97	681,683
14	1,525	14	11,882	42	61,109	70	232,606	98	707,000
13	1,655	15	12,677	43	64,396	71	242,877	99	733,100
12	1,796	16	13,519	44	67,833	72	253,530	100	760,000
11	1,947	17	14,409	45	71,427	73	264,577	101	787,718
10	2,109	18	15,351	46	75,185	74	276,029	102	816,273
9	2,284	19	16,345	47	79,111	75	287,898	103	845,683
8	2,471	20	17,396	48	83,212	76	300,193	104	875,971
7	2,671	21	18,505	49	87,494	77	312,934	105	907,157
6	2,886	22	19,675	50	91,965	78	326,127	106	939,260
5	3,115	23	20,909	51	96,630	79	339,786	107	972,296
4	3,361	24	22,211	52	101,497	80	353,926	108	1006,300
3	3,624	25	23,582	53	106,572	81	368,558	109	1041,276
2	3,905	26	25,026	54	111,864	82	383,697	110	1077,261
1	4,205	27	26,547	55	117,378	83	399,357	111	1114,268
0	4,525	28	28,148	56	123,124	84	415,552	112	1152,321
1	4,867	29	29,832	57	129,109	85	432,295	113	1191,444
2	5,231	30	31,602	58	135,341	86	449,603	114	1231,660
3	5,619	31	33,464	59	141,829	87	467,489	115	1272,986
4	6,032	32	35,419	60	148,579	88	485,970	116	1315,462
5	6,471	33	37,473	61	155,603	89	505,060	117	1359,094
6	6,939	34	39,630	62	162,908	90	524,775	118	1403,915
7	7,436	35	41,893	63	170,502	91	545,133		

XVI. Tafel des Wassergehaltes der atmosphärischen L
in Milliontheilen des Raumes.

Temperatur der Luft. Grade nach Celsius.	Differenz des trockenen und befeuchteten Thermometers.											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	[illegible]
− 20	1,5	0,8	0,1										
− 19	1,6	0,9	0,2										
− 18	1,8	1,0	0,3										
− 17	1,9	1,1	0,4										
− 16	2,0	1,2	0,5										
− 15	2,1	1,4	0,6										
− 14	2,3	1,5	0,8										
− 13	2,4	1,6	0,9	0,1									
− 12	2,6	1,8	1,0	0,3									
− 11	2,7	2,0	1,2	0,4									
− 10	2,9	2,1	1,3	0,6									
− 9	3,1	2,3	1,5	0,7									
− 8	3,3	2,5	1,7	0,9	0,1								
− 7	3,5	2,7	1,9	1,1	0,3								
− 6	3,7	2,9	2,1	1,3	0,5								
− 5	4,0	3,1	2,3	1,5	0,7								
− 4	4,2	3,4	2,5	1,7	0,9	0,1							
− 3	4,5	3,6	2,8	1,9	1,1	0,3							
− 2	4,8	3,9	3,0	2,2	1,4	0,5							
− 1	5,1	4,2	3,3	2,4	1,6	0,8							
0	5,4	4,5	3,6	2,7	1,9	1,0	0,2						
+ 1	5,7	4,7	3,8	2,9	2,1	1,2	0,4						
+ 2	6,1	5,1	4,1	3,2	2,3	1,4	0,5						
+ 3	6,5	5,4	4,4	3,4	2,5	1,6	0,7						
+ 4	6,9	5,8	4,8	3,7	2,7	1,8	1,0						
+ 5	7,3	6,2	5,1	4,1	3,1	2,1	1,2	0,3					
+ 6	7,7	6,6	5,5	4,5	3,4	2,4	1,4	0,5					
+ 7	8,2	7,0	5,9	4,9	3,9	2,8	1,8	0,8					
+ 8	8,7	7,5	6,4	5,3	4,2	3,2	2,1	1,1	0,2				
+ 9	9,2	8,0	6,9	5,7	4,6	3,6	2,5	1,5	0,5				
+ 10	9,7	8,5	7,3	6,2	5,1	4,0	2,9	1,9	0,9				
+ 11	10,3	9,1	7,9	6,7	5,6	4,4	3,3	2,3	1,2	0,2			
+ 12	10,9	9,7	8,4	7,2	6,0	4,9	3,8	2,7	1,7	0,6			
+ 13	11,6	10,3	9,0	7,8	6,6	5,4	4,3	3,1	2,1	1,0			
+ 14	12,2	10,9	9,6	8,3	7,1	5,9	4,8	3,6	2,5	1,4	0,4		
+ 15	13,0	11,6	10,3	9,0	7,7	6,5	5,3	4,1	3,0	1,9	0,8		
+ 16	13,7	12,3	10,9	9,6	8,3	7,0	5,8	4,6	3,5	2,4	1,3	0,2	
+ 17	14,5	13,1	11,8	10,3	9,0	7,7	6,4	[illegible]	4,0	2,9	1,7	0,7	
+ 18	15,3	13,9	12,4	11,0	9,6	8,3	7,0	5,8	4,6	3,4	2,2	1,1	
+ 19	16,2	14,7	13,2	11,7	10,3	9,0	7,7	6,4	5,1	3,9	2,8	1,6	
+ 20	17,1	15,5	14,0	12,5	11,1	9,7	8,3	7,0	5,8	4,5	3,3	2,1	
+ 21	18,1	16,5	14,9	13,4	11,9	10,5	9,1	7,7	6,4	5,1	3,9	2,7	
+ 22	19,1	17,4	15,8	14,2	12,7	11,2	9,8	8,4	7,1	5,8	4,5	3,3	
+ 23	20,2	18,5	16,8	15,2	13,6	12,1	10,6	9,2	7,8	6,4	5,2	3,9	
+ 24	21,3	19,5	17,8	16,1	14,5	12,9	11,4	10,0	8,5	7,2	5,8	4,5	
+ 25	22,5	20,6	18,9	17,1	15,5	13,8	12,3	10,8	9,3	7,9	6,5	5,2	[illegible]
+ 26	23,8	21,8	20,0	18,2	16,5	14,8	13,2	11,6	10,1	8,7	7,3	5,9	[illegible]
+ 27	25,1	23,1	21,2	19,3	17,5	15,8	14,2	12,6	11,0	9,5	8,1	6,7	[illegible]
+ 28	26,4	24,4	22,4	20,5	18,7	16,9	15,2	13,5	11,9	10,4	8,9	7,5	[illegible]
+ 29	27,9	25,8	23,7	21,7	19,8	18,0	16,3	14,6	12,9	11,3	9,8	8,3	[illegible]
+ 30	29,4	27,2	25,1	23,0	21,1	19,2	17,4	15,6	13,9	12,3	10,7	9,1	[illegible]
+ 31	31,0	28,7	26,5	24,4	22,4	20,4	18,5	16,7	15,0	13,3	11,8	10,1	[illegible]
+ 32	32,6	30,3	28,0	25,8	23,8	21,7	19,8	17,9	16,1	14,3	12,7	11,0	[illegible]
+ 33	34,4	31,9	29,8	27,3	25,2	23,1	21,1	19,1	17,3	15,4	13,7	12,0	[illegible]
+ 34	36,2	33,7	31,2	28,9	26,7	24,5	22,4	20,4	18,5	16,6	14,8	13,1	[illegible]
+ 35	38,1	35,5	33,0	30,6	28,2	26,0	23,8	21,8	19,8	17,9	16,0	14,3	[illegible]

… Tabelle der Brechungs…

für die den dunklen Linien B bis H im Spectrum entsprechenden Strahlen.

Brechendes Mittel.	Spec. Gew.	B	C	D	E	F	G	H
Flintglas . . .	3,723	1,627749	1,629681	1,635036	1,642024	1,648260	1,660285	1,671062
Crownglas . . .	2,535	1,525832	1,526849	1,529587	1,533005	1,536052	1,541657	1,546566
Wasser	1,000	1,330956	1,331710	1,333577	1,335850	1,337803	1,341277	1,344170
Terpentinöl . .	0,885	1,470496	1,471530	1,474434	1,478353	1,481740	1,488198	1,493874
Flintglas . . .	3,512	1,602042	1,603800	1,608494	1,614532	1,620042	1,630772	1,640373
Flintglas . . .	3,695	1,623570	1,625477	1,630585	1,637356	1,643466	1,655406	1,666072
Crownglas . . .	2,756	1,554774	1,555933	1,559075	1,563150	1,566711	1,573535	1,579470
Gelbes Borsäure-Flintglas . . .	3,417	1,704920	1,707000	1,714390	1,723300	1,731910	1,748500	1,763000

XVIII. Tabelle der Brechungsverhältnisse für St[illegible] len von mittlerer Brechbarkeit, beim Uebergange [illegible] Luft in die bezeichneten Mittel.

Brechendes Mittel.	Spec. Gew.	Feste und Flüssige Körper. Brechungsexponenten.	Feste und Flüssige Körper. Absolutes Brechungsvermögen	Feste und Flüssige Körper. Specifisches Brechungsvermögen	[illegible]
Diamant . . .	3,521	2,487	5,185	1,473	[illegible]
Schwefel, natürlich vorkommender . . .	2,033	2,115	3,473	1,708	[illegible]
Saphir, blauer .	4,000	1,794	2,218	0,554	[illegible]
Topas, gelber . .	3,550	1,638	1,683	0,474	[illegible]
Bergkrystall . .	2,653	1,562	1,440	0,545	[illegible]
Steinsalz . . .	2,143	1,557	1,424	0,664	[illegible]
Zucker	1,606	1,554	1,415	0,943	[illegible]
Eis	0,916	1,307	0,708	0,775	
Wasser.	1,000	1,336	0,785	0,785	[illegible]
Crownglas . . .	2,535	1,533	1,350	0,544	[illegible]
Flintglas . . .	3,723	1,642	1,696	0,799	[illegible]
Schwefel-Kohlenstoff	1,272	1,643	1,699	1,336	[illegible]
Terpentinöl . .	0,885	1,476	1,178	1,332	[illegible]
Aether	0,773	1,358	0,844	1,151	[illegible]
Alkohol . . .	0,825	1,374	0,885	1,076	[illegible]
Schwefelsäure .	1,841	1,440	1,074	0,583	[illegible]

'abelle der Brechungsverhältnisse und des al
Brechungsvermögens einiger Gase bei 0°
(nach Dulong, Pogg. Ann VI. 413). *Uel*
gang in den leeren Raum.

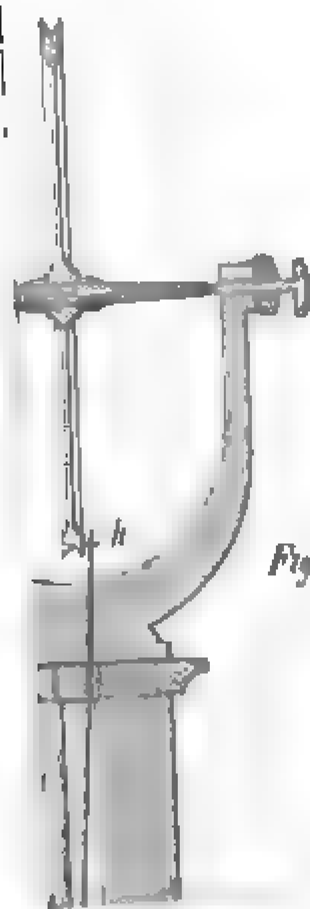
n der Gase.	Brechungsexponent.	Absolutes Brechun Vermögen.
ıärische Luft .	1,000294	0,000589
ıff	1,000272	0,000544
ıoff	1,000138	0,000277
ıff	1,000300	0,000601
ık	1,000385	0,000771
äure	1,000449	0,000899
. . . .	1,000772	0,001545
sserstoff . .	1,000449	0,000899
ffoxydul . .	1,000503	0,001007
ffoxyd . . .	1,000303	0,000606
xyd	1,000340	0,000681
. . . .	1,000834	0,001668
ndes Gas . .	1,000678	0,001356
ıa	1,000443	0,000886
lige Säure .	1,000665	0,001331
lwasserstoff .	1,000644	0,001288
·läther . . .	1,001530	0,003061
·lkohlenstoff .	1,001500	0,003010



Pl. 1.

Fig. 1 und 2 in 1/12 ... Größe

Fig. 3 und 4 in 1/4 ... licher Gr...



Pl. 1.

und 2 in ...
Größ...
und 1 in ...
licher G...



Fig. 3.

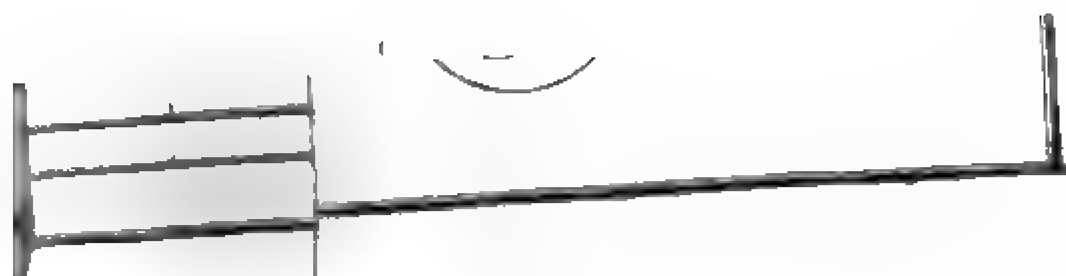



Fig. 11

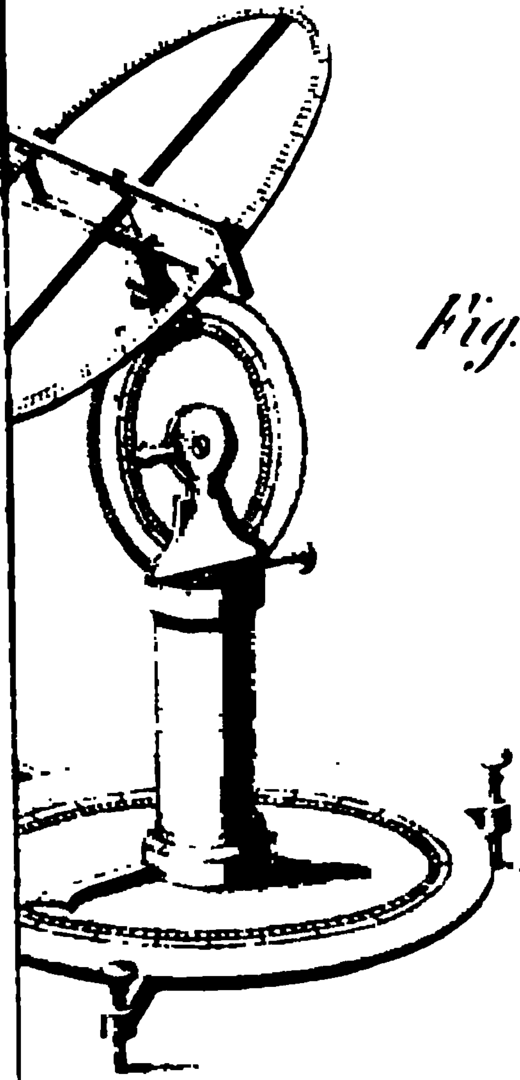
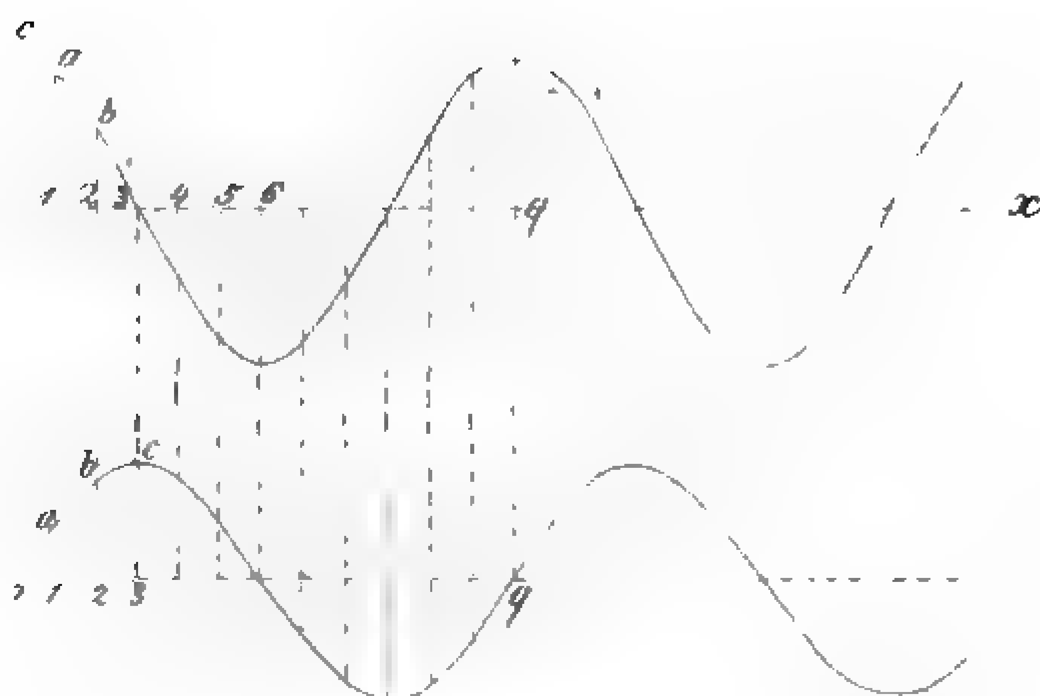
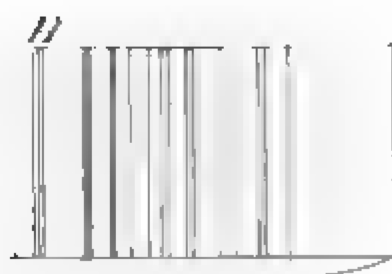

Fig. II.

Fig 4



Fig 5





Violett

Lith. v. P. Wagner in Carlsruhe.

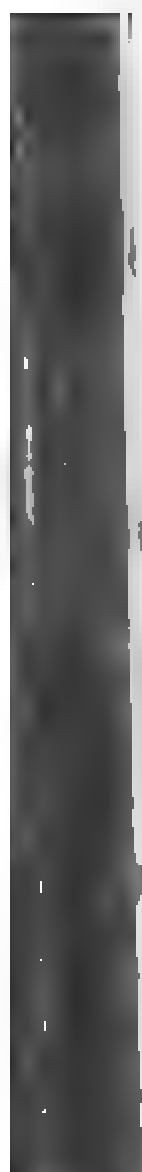


Fig. 4

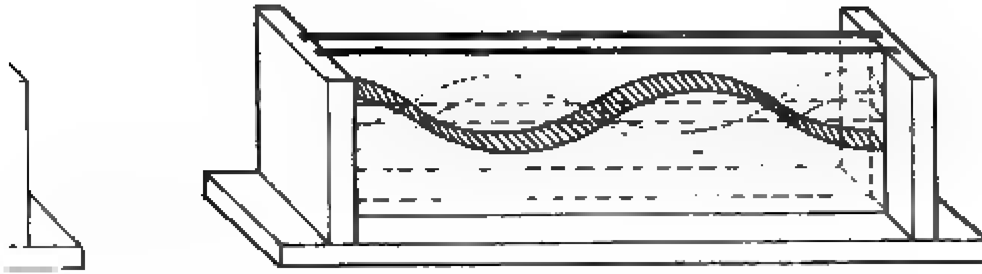
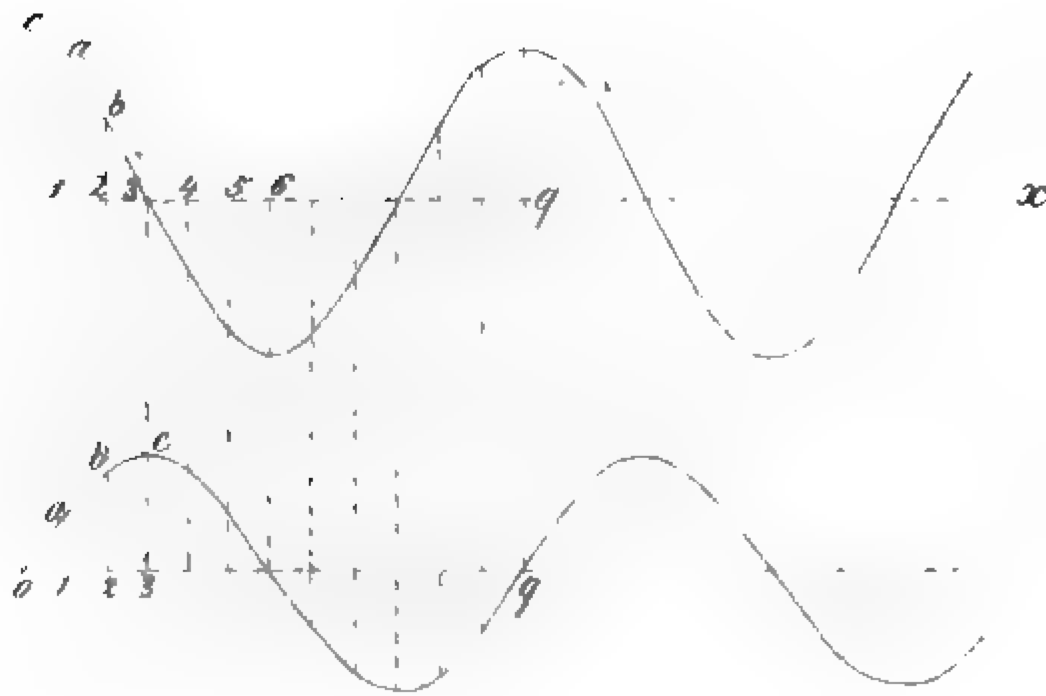
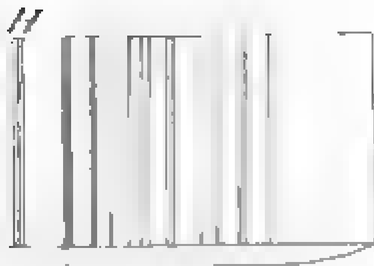


Fig. 5





Lith. v. P. Wagner in Carlsruhe

Register.

II. Abtheilung in 2 Hälften. A. u. d. T.: Pharmaceutische Botanik, zweite Auflage, neu bearbeitet von Dr. Th. Fr. L. Nees von Esenbeck und Dr. J. H. Dierbach. gr. 8. 1839—40. geh.
Erste Hälfte Thlr. 5. oder fl. 9.
Zweite Hälfte Thlr. 4. oder fl. 7. 12 kr.

eiger, Ph. L., Handbuch der Pharmacie. II. Band, zweite Auflage. Ergänzungsheft zur Pharmaceutischen Botanik. gr. 8. 1843. geh. Thlr. 1. 20 Ngr. oder fl. 3.

NB. Das complette Werk, also Band I und II mit Register und Ergänzungsheft kostet Thlr. 20. 20 Ngr. oder fl. 37. 12 kr.

ofmann, J. P., das chemische Laboratorium der Ludwigs-Universität zu Gießen, nebst einem Vorwort von Dr. Justus Liebig. gr. 8. 1842. geh. Mit 1 Kupferheft in Fol., enthaltend eine äußere und innere Ansicht nebst 6 Blättern erläutender Risse und Detailzeichnungen. Thlr. 3. oder fl. 5. 24 kr.

iebig, Prof. Dr. Justus, organische Chemie. (Besonderer Abdruck aus Geigers Handbuch der Pharmacie. I. Band. 5. Aufl.) gr. 8. 1843. geh. Thlr. 4. 5 Ngr. oder fl. 7. 30 kr.

— Bemerkungen über das Verhältniss der Thier-Chemie zur Thier-Physiologie. gr. 8. 1844. geh. 10 Ngr. oder 36 kr.

— chemische Untersuchung über das Fleisch und seine Zubereitung zum Nahrungsmittel. gr. 8. 1847. geh. 25 Ngr. oder fl. 1. 30 kr.

— chemische Briefe. Dritte Auflage. 8. 1851. geh. Thlr. 2. 24 Ngr. oder fl. 4. 48 kr.

ärklin, Betrachtungen über die Urformen der niedern Organismen. 8. 1823. geh. 17 Ngr. od. fl. 1.

ulder, D. J., Professor in Utrecht, Versuch einer allgemeinen physiologischen Chemie. Aus dem Holländischen übersetzt von Dr. **Jac. Moleschott**, Docenten der Physiologie in Heidelberg. 1—8. Lieferung. gr. 8. geh. Thlr. 2. 22 Ngr. oder fl. 4. 54 kr.

harmacopoea universalis. Inchoavit **Phil. Laur. Geiger**, continuavit et absolvit **Fried. Mohr.** Pars I, II et Index alphabeticus. Lexicon Format. 1835 — 1845. geh. Thlr. 11. 15 Ngr. oder fl. 20. 42 kr.

harmacopoea Badensis. roy. 8. 1841. geh. Thlr. 2. 20 Ngr. oder fl. 4. 48 kr.

osselt, Dr. L., Tabellarische Uebersicht der qualitativen chemischen Analyse. Zum Gebrauche bei den praktischen Arbeiten im Laboratorium. In 3 Tafeln in Umschlag. 1845. 7½ Ngr. oder 27 kr.

— Die analytische Chemie, tabellarisch dargestellt. Folio. 1846. geh. Thlr. 1. 10 Ngr. oder fl. 2. 20 kr.

